

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES

RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS E DE CONSERVAÇÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM VAZÕES MÁXIMAS,
MÍNIMAS E MÉDIAS DE LONGO PERÍODO

CURITIBA

2015

MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES

RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS E DE CONSERVAÇÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM VAZÕES MÁXIMAS,
MÍNIMAS E MÉDIAS DE LONGO PERÍODO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Doutorado, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Chisato Oka Fiori
Co-orientador: Prof. Dr. Eloy Kaviski
Co-orientador: Prof. Dr. Claudinei T. da Silveira

CURITIBA

2015



MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Tese de Doutorado, apresentada pelo (a) candidato (a) **MARCIA REGINA GOMES DE JESUS SOARES** intitulada **“RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS FISIOGRAFICOS E DE CONSERVAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM VAZÕES MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS DE LONGO PERÍODO”**, para obtenção do grau de Doutora em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

Após haver analisado o referido trabalho e arguido o (a) candidato (a), são de parecer pela APROVAÇÃO da Tese.

Curitiba, 21 de agosto de 2015.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:


Prof. Dr. Chisato Oka Fiori - orientadora


Prof. Dr. Angela Veiga Beltrame - UFSC


Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno – Depto Geomática/UFPR


Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza – Depto Solos e Eng. Agrícola/UFPR


Prof. Dr. Irani dos Santos - PPGGEO/UFPR

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram direta ou indiretamente com a produção deste trabalho, possibilitando a concretização de mais uma etapa de minha vida acadêmica.

Em especial à Jeová Deus que me presenteou com vida, esperança, princípios justos e força espiritual.

Aos ex-colegas de trabalho da Universidade Tuiuti do Paraná, Ana Sylvia Ribeiro Pimentel, Uraci Castro Bomfim e José Soares Coutinho Filho, que me incentivaram e indicaram ao processo seletivo.

Ao orientador inicial, Prof. Dr. Naldy Emerson Canali (*in memoriam*), que concedeu-me credibilidade.

À Profa. Dra. Chisato Oka Fiori que, ao se colocar à disposição e seguir com a orientação após o falecimento do Prof. Naldy, aceitou um grande desafio. Fez sua parte com muito interesse e dedicação o que me deixou comovida e com sentimento de gratidão imensurável.

Aos co-orientadores Profs. Drs. Eloy Kaviski e Claudinei Taborda da Silveira pela excelente colaboração no andamento e concretização da pesquisa.

À coordenação, docentes, funcionários e colegas do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná que me deram credibilidade e apoio em diversos momentos.

À CAPES que concedeu-me auxílio financeiro entre novembro de 2013 e março de 2015.

À AGUASPARANÁ que forneceu os dados hidrológicos.

Ao INPE que forneceu as imagens de satélite.

À banca de avaliação da apresentação e defesa, composta por ilustres professores doutores: Angela da Veiga Beltrame; Jorge Luiz Moretti de Souza; Jorge Antonio Centeno da Silva e Irani dos Santos. Meus sinceros agradecimentos.

Aos colegas Camila, Ricardo, Priscila, Jonatas, Rodrigo e Daiany que compartilharam os conhecimentos com dicas valiosas no geoprocessamento.

E por último, mas não menos importante, ao meu esposo Valdenir e filha Laura que com paciência me incentivaram, em momentos críticos, a prosseguir.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	6
FIGURA 2. UNIDADES GEOLÓGICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	7
FIGURA 3. HIPSOMETRIA DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	11
FIGURA 4. COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR.....	12
FIGURA 5. SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	14
FIGURA 6. PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	16
FIGURA 7. COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO MÉDIA MENSAL DO RIO IVAÍ (1985-2012)	19
FIGURA 8. DISTRIBUIÇÃO HIDROLÓGICA DO RIO IVAÍ	20
FIGURA 9. HIDROGRAFIA DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	21
FIGURA 10. PERFIL LONGITUDINAL DO RIO IVAÍ – PR.....	24
FIGURA 11. UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR.....	26
FIGURA 12. DIVISÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR.....	48
FIGURA 13. CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 1986	63
FIGURA 14. CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 2000	64
FIGURA 15. CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 2011	65
FIGURA 16. DADOS COMPARATIVOS DO ÍNDICE DE PROTEÇÃO TOTAL	68
FIGURA 17. SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR ANO DE 1986	70
FIGURA 18. SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR ANO DE 2000	71
FIGURA 19. SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR ANO DE 2011	72
FIGURA 20. DADOS COMPARATIVOS DE SEMELHANÇA – PARÂMETRO CO	74
FIGURA 21. DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	76
FIGURA 22. POLÍGONOS DE THIESSEN DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR	78
FIGURA 23. POTENCIAL EROSIVO DO SOLO – BACIA DO RIO IVAÍ – PR.....	82
FIGURA 24. EXCEDENTE HÍDRICO DA BACIA DO RIO IVAÍ, 1985 – 2012.....	84
FIGURA 25. DADOS COMPARATIVOS DO DFC POR SUB-BACIA.....	86
FIGURA 26. DADOS COMPARATIVOS DO DFC E VAZÃO MÉDIA DO RIO IVAÍ	87
FIGURA 27. CURVA DE PERMANÊNCIA POR SUB-BACIA.	96
FIGURA 28. VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS: MÁXIMAS ANUAIS POR SUB-BACIA.	97
FIGURA 29. VAZÕES MÉDIAS ANUAIS: MÍNIMAS POR SUB-BACIA	98
FIGURA 30. DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS CP HIDROLÓGICAS	101
FIGURA 31. GRÁFICOS COMPARATIVOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DFC	102
FIGURA 32. DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS CP DO DFC	105
FIGURA 33. DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS CP MORFOMÉTRICAS	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. INFORMAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ	49
TABELA 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PARA SETORIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ	50
TABELA 3. EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO DFC	51
TABELA 4. PARÂMETRO CA – ÍNDICE DE PROTEÇÃO TOTAL	52
TABELA 5. GRAU DE SEMELHANÇA PARA O PARÂMETRO CO	52
TABELA 6. CLASSES DE DECLIVIDADE E SUBÍNDICES – PARÂMETRO DM.....	53
TABELA 7. ÍNDICES DE E PARA O ESTADO DO PR.....	54
TABELA 8. FATOR DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ	55
TABELA 9. MATRIZ DE INTEGRAÇÃO ENTRE DECLIVIDADE E EROSÃO – RIO IVAÍ.....	55
TABELA 10. ESCALONAMENTO DOS ÍNDICES DO POTENCIAL EROSIVO	56
TABELA 11. CLASSES DE DECLIVIDADE E SUBÍNDICES - PARÂMETRO DM	56
TABELA 12. CLASSIFICAÇÃO DOS BALANÇOS HÍDRICOS PARA O PARANÁ	57
TABELA 13. SÍNTESE DOS SETORES – BACIA DO RIO IVAÍ	58
TABELA 14. EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O CÁLCULO MORFOMÉTRICO	59
TABELA 15. PRINCIPAIS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ.....	62
TABELA 16. USO DO SOLO E ÍNDICE CA POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ – PR	67
TABELA 17. PARÂMETRO CA POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ.....	69
TABELA 18. PARÂMETRO CO POR SUB-BACIA DA BACIA DO RIO IVAÍ	73
TABELA 19. PARÂMETRO DM POR SUB-BACIA - BACIA DO RIO IVAÍ.....	75
TABELA 20. ERSOSIVIDADE DA PRECIPITAÇÃO POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ	77
TABELA 21. CÁLCULO DO POTENCIAL EROSIVO POR SUB-BACIA	79
TABELA 22. PARÂMETRO DD POR SUB-BACIA	83
TABELA 23. PARÂMETRO BH POR SUB-BACIA	85
TABELA 24. RESUMO DOS PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO DFC	85
TABELA 25. POTENCIAIS DE DEGRADAÇÃO POR SUB-BACIA.....	86
TABELA 26. VALORES DOS PARÂMETROS FISIOGRAFICOS POR SUB-BACIA.....	89
TABELA 27. DADOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO IVAÍ.....	92
TABELA 28. MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO DAS VAZÕES.....	95
TABELA 29. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS POR SUB-BACIA.....	100
TABELA 30. RESULTADOS DA ACP – VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS.....	101
TABELA 31. RESULTADOS DA ACP – VARIÁVEIS DO DFC.....	103
TABELA 32. RESULTADOS DA ACP – VARIÁVEIS INTEGRANTES DO DFC	104
TABELA 33. RESULTADOS DA ACP – VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	106
TABELA 34. ACC – DFC VERSUS VAZÕES	107
TABELA 35. ACC – VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS VERSUS VAZÕES	108

LISTA DE SIGLAS

ACP – Análise de Componentes Principais

ÁGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná

CIDIAT – Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras

COAMO – Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda.

COCAMAR – Cooperativa Agroindustrial de Maringá

COPATI – Consórcio Intermunicipal para Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi

DFC – Diagnóstico Físico Conservacionista

DIBH – Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica

DSE – Diagnóstico Socioeconômicos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPARDES – Instituto paranaense de desenvolvimento econômico e social

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências

MARNR – Ministério do Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

MDE – Modelo Digital de Elevação

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

SUREHMA – Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente

UTM – Universal Transversa Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESE	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	3
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 GEOLOGIA DA BACIA DO RIO IVAÍ	5
2.2 RELEVO DA BACIA DO RIO IVAÍ	10
2.3 SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ	15
2.4 CLIMA NA REGIÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ	18
2.5 HIDROGRAFIA DA BACIA DO RIO IVAÍ	20
2.6 UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ	24
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
3.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	28
3.2 DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA (DFC)	30
3.3 INFLUÊNCIA DA MORFOMETRIA FLUVIAL SOBRE VAZÕES CARACTERÍSTICAS	36
3.4 CICLO HIDROLÓGICO	37
3.5 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA	39
3.6 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	41
4 MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 MATERIAL UTILIZADO NO LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO	47
4.2 DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA (DFC)	47
4.3 DETERMINAÇÃO DA MORFOMETRIA EM CANAIS FLUVIAIS	58
4.4 ASSOCIAÇÕES DAS INFORMAÇÕES E AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1 DIAGNOSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA	62
5.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA	88
5.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ – PR	94
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	99
6 CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	113
ANEXO	124
APÊNDICE	128

RESUMO

Teve-se por objetivo geral na presente pesquisa avaliar as relações de características fisiográficas e de conservação que representam bacias hidrográficas (DFC – diagnóstico físico conservacionista e morfométricos fluviais) com variáveis explicativas das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Para isso foram levadas em consideração as variáveis fisiográficas pedológicas, geológicas, geomorfológicas, morfométricas, pluviométricas e de uso e ocupação do solo que foram confrontadas com os dados de vazão. O estudo foi aplicado em todo o complexo hidrográfico do Ivaí, subdividido em 14 sub-bacias, de acordo com as estações de monitoramento de vazões e com características hidrológicas distintas a fim de comparação. Foi construído um banco de dados com informações teóricas e cartografadas em meios gráficos e alfanuméricos, georreferenciados e inter-relacionados. Para isso foi feito uso de geotecnologias como o geoprocessamento, Sistema de Informações Geográficas (SIG) e do Sensoriamento Remoto. Com uso das imagens de satélite compreendendo um período de multitemporalidade de vinte e cinco anos, foi verificada a evolução do adensamento urbano e seu grau de impacto na hidrologia, pelo método do DFC. Os indicadores físicos fundamentais para a obtenção dos resultados foram confrontados com os dados hidrológicos de vazão e pluviosidade com séries históricas de um período de vinte e sete anos. Com a integração das informações hidrológicas associadas às geotecnologias e da análise estatística multivariada obteve-se a confirmação da eficiência do *DFC*, *Lm*, *Dr*, *Dd*, *Eps*, *Cm*, *Ir*, *Tt* e *Rpb* na correlação de causa e efeito das vazões mínimas de sete dias; *DFC*, *Eps*, *Cm*, *Rpb* e *Tt* nas vazões máximas; e, *DFC*, *Rr*, *Kc*, *Isin* e *Ff* nas vazões médias de longo período, podendo ser utilizados na regionalização das vazões.

Palavras-chave: Diagnóstico físico conservacionista, parâmetros morfométricos fluviais, regionalização de vazões.

ABSTRACT

It should be a general objective of this research was to evaluate the relationship of physiographic features and conservation representing watersheds (CPD – conservationist physical diagnosis and fluvial morphometric parameters) with explanatory variables of the maximum, minimum and medium long period flows. For this were taken into account physiographic variables pedological, geological, geomorphological, morphometric, rainfall and soil use and soil occupation they were confronted with the flow data. The study was applied across the hydrographic complex Ivaí, subdivided into 14 sub-basins, according to the flow monitoring stations and with distinct hydrological characteristics to compare. A database was built with theoretical and mapped in graphics and alphanumeric, georeferenced and interrelated media information. To this was done use of geotechnology through geoprocessing with the use of Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing. Through satellite images comprising a multitemporal period of twenty-five years, has been verified the evolution of urban density and their degree of impact on hydrology, by the FDC method. The fundamental physiographic indicators to obtain the results were confronted with hydrologicals flow and rainfall datas with historical series from the period of twenty-seven years. With the integration of hydrological information associated with geo and multivariate statistical analysis was obtained as conclusive result to confirm the *CPD*, *Lm*, *Dr*, *Dd*, *Eps*, *Cm*, *Ir*, *Tt* and *Rpb* efficiency the correlation of cause and effect of minimum flows seven days; *CPD*, *Eps*, *Cm*, *Rpb* and *Tt* in maximum flows; and *CPD*, *Rr*, *Kc*, *Isin* and *Ff* in the average flow of long period and can be used in regionalization of flow on a regional scale.

Key-words: Physical diagnosis conservationist, fluvial morphometric parameters, regionalization flows.

1 INTRODUÇÃO

A formulação de conhecimentos aprofundados da inter-relação entre sociedade e meio ambiente têm direcionado estudos de cientistas e pesquisadores. O fornecimento de subsídios técnico-científicos auxiliares nas questões de planejamento territorial, voltados ao uso do solo para o estabelecimento de relações mais equilibradas são frequentes e necessárias. A aplicação do método de Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) tem permitido o levantamento e análise do meio físico para a tomada de decisões (NEVES, 2012; CARVALHO, 2004; FERRETTI, 2003; BELTRAME, 1990).

A realização do diagnóstico do meio físico e socioeconômico e a análise dos resultados com técnicas disponíveis como estatística e pesquisa operacional, são fundamentais. Entretanto, tendo em vista a quantidade de métodos existentes na literatura que objetivam a análise do meio físico, nota-se a falta de verificação da eficiência com variáveis significativas, como as vazões. Além disso, quando se aplica métodos que atribuem pesos para a geração de matrizes resultantes da inter-relação de variáveis importantes (relacionadas à declividade, tipos de solo, uso do solo, por exemplo), fica a dúvida da veracidade dos resultados. Os critérios do método e a que processos de proteção servem, necessitam de esclarecimentos e os argumentos para o emprego dos valores nem sempre são apresentados.

Os parâmetros morfométricos fluviais são largamente utilizados para fornecer informações valiosas acerca do quadro tectônico de uma região (GUEDES *et al.*, 2007). O estudo pode ser aplicado para a gestão do solo e da água, bem como a prevenção de desastres em bacias hidrográficas (YADAV *et al.*, 2014; PATEL *et al.*, 2013; GABET; BOOKTER, 2008). Estudos que relacionam análise dos parâmetros morfométricos fluviais às vazões médias, máximas e mínimas podem ser de grande importância para a tomada de decisões no sistema hidráulico e energético fluvial. Entretanto, estudos de causa e efeito para o conhecimento de quais variáveis morfométricas fluviais são mais representativas a determinado aspecto de vazão ainda merecem maiores esclarecimentos.

Existe a necessidade da aplicação em estudos dos aspectos das variáveis de vazão para a avaliação dos resultados provenientes do DFC e dos parâmetros morfométricos fluviais. Identificados os parâmetros mais importantes no

levantamento fisiográficos, poderão ser utilizados para regionalizar vazões nas mais diferentes regiões em que se possa aplicar os parâmetros.

Regionalização de vazões é o conjunto de procedimentos e métodos estatísticos que visam explorar ao máximo os dados existentes em uma região. Permite estimar a vazão em local com ausência ou insuficiência de dados, obter indiretamente vazões em seções que faltem dados ou apresente fatores de ordem física ou econômica que não seja possível a instalação de estações hidrométricas. A estimativa é realizada baseando-se em modelos de cálculo das vazões, que se demonstram estatisticamente aplicáveis a qualquer seção fluvial da bacia considerada (BARBOSA *et al.*, 2005).

1.1 HIPÓTESE

O DFC e os parâmetros morfométricos fluviais em bacias hidrográficas podem ser explicados pelas variáveis de vazão (média, máxima e mínima), tendo sua eficiência confirmada. Os métodos de levantamento fisiográfico necessitam de esclarecimentos sobre seu relacionamento com variáveis fluviométricas para fortalecer sua aplicação na análise e gestão dos recursos naturais em grandes bacias. Caso esta eficiência se confirme, os parâmetros poderão servir como instrumentos para a regionalização das vazões.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a relação de características fisiográficas e de conservação que representam bacias hidrográficas (DFC – diagnóstico físico conservacionista e

morfométricos fluviais) com variáveis explicativas das vazões máximas, mínimas e médias de longo período.

1.2.2 Objetivos específicos

- Proceder ao levantamento de informações fisiográficas e de conservação, fundamentadas no DFC, em aspecto multitemporal, e na morfometria fluvial;
- interpretar e analisar os valores dos parâmetros fisiográficos e de conservação, em especial as variáveis do DFC, utilizando como suporte as concepções de geotecnologias e da estatística multivariada;
- Estabelecer informações de suporte ao levantamento de dados de regionalização hidrológica e tomada de decisões.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Com base no exposto, a presente pesquisa está estruturada da seguinte forma:

Capítulo 2 – Apresentação da localização da área de estudo e das características fisiográficas da bacia do rio Ivaí para elaborar uma base de dados digital centralizada e passível de utilização nas análises e discussões posteriores.

Capítulo 3 – Trata da Fundamentação Teórica que aborda os aspectos da necessidade de gestão e planejamento ambiental e da bacia hidrográfica como principal instrumento no contexto de planejamento.

Capítulo 4 – Estão descritos os procedimentos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa, bem como os materiais utilizados.

Capítulo 5 – Trata dos resultados e discussões, que abordam a aplicação efetiva do DFC e dos parâmetros morfométricos para as sub-bacias do rio Ivaí. Procurou-se

consolidar a utilização de parâmetros de levantamento ambiental eficiente que engloba variáveis de grande relevância de um sistema ambiental.

Capítulo 6 – Reservado para as conclusões, sendo destacados os pontos mais importantes da pesquisa.

A abordagem teórico-metodológica aplicada na presente pesquisa é direcionada pela análise sistêmica. Desta forma, a bacia hidrográfica do Ivaí, considerada um sistema natural aberto, é passível à aplicação dos métodos de diagnóstico físico conservacionista e de levantamento morfométrico fluvial.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Objetivo do capítulo: reunir informações físicas cartográficas e hidrológicas para o suporte na aplicação e avaliação dos parâmetros que serão analisados. Os levantamentos geológico, geomorfológico, pedológico, climatológico, hidrográfico e fitogeográfico a seguir servirão de base para a quantificação dos parâmetros que compõem o DFC e a morfometria fluvial. Além disso a setorização da área de estudo em pontos amostrais foi realizada com base nas informações de localização dos postos de monitoramento de vazão, perfis hidrográficos e dados de altimetria, descritos a seguir.

A área de estudo, bacia hidrográfica do Ivaí (FIGURA 1), foi selecionada por apresentar dados de vazão e chuva adequados aos objetivos propostos. Encontrase inteiramente inserida no território paranaense, nas regiões que compreende o segundo e o terceiro planalto. Localiza-se entre as coordenadas UTM 224.214,2 m e 7.465.630,6 m; 525.920,2 m e 7.170.625,7 m. Surge da confluência dos rios dos Patos e São João, na Porção Sul do Estado do Paraná, precisamente na região denominada Serra da Boa Esperança. As nascentes do rio principal estão localizadas na divisa dos municípios de Prudentópolis e Ivaí (BALDO, 2006).

A bacia do rio Ivaí possui área total de 35.845 km², entretanto, foi necessário diminuir a área de estudo em relação à área total da bacia (FIGURA 1). O motivo da ação foi que a última estação de monitoramento de vazão, no exutório do rio Ivaí, não apresentou dados coerentes, e por isso teve de ser descartada. A área de estudo foi reduzida para 34.419 km².

2.1 GEOLOGIA DA BACIA DO RIO IVAÍ

Em virtude da extensão da bacia do rio Ivaí e da complexidade geológica encontrada na área, os eventos geológicos serão descritos em sequência cronológica, dos períodos mais antigos para os mais recentes. Os principais tipos de rocha encontrados em cada grupo e sua formação são mostrados na FIGURA 2.

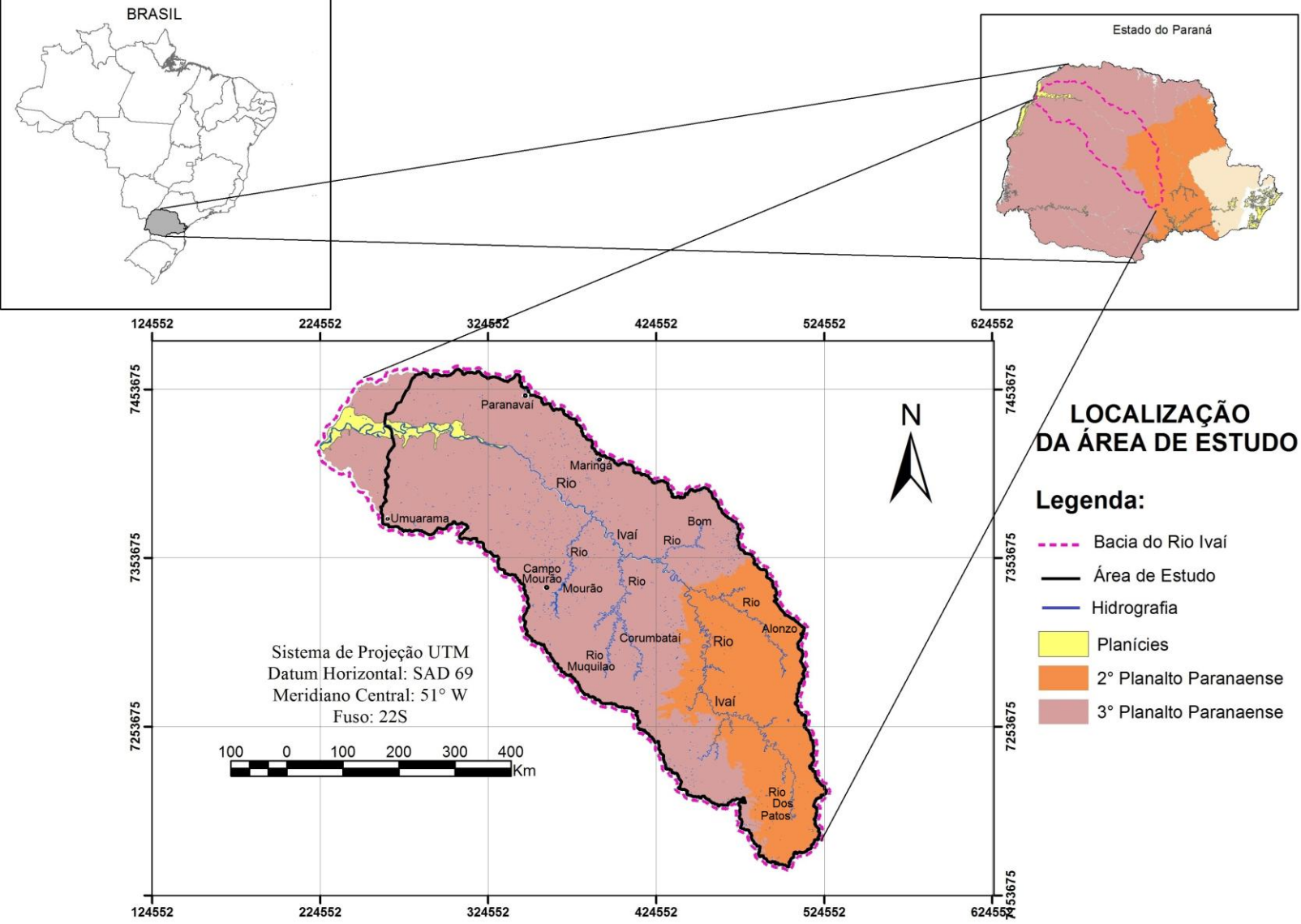


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: ÁGUASPARANÁ, 2012; OKA FIORI; SANTOS (Coord.) *et al.*, 2006. ORG.: SOARES, M., 2014)

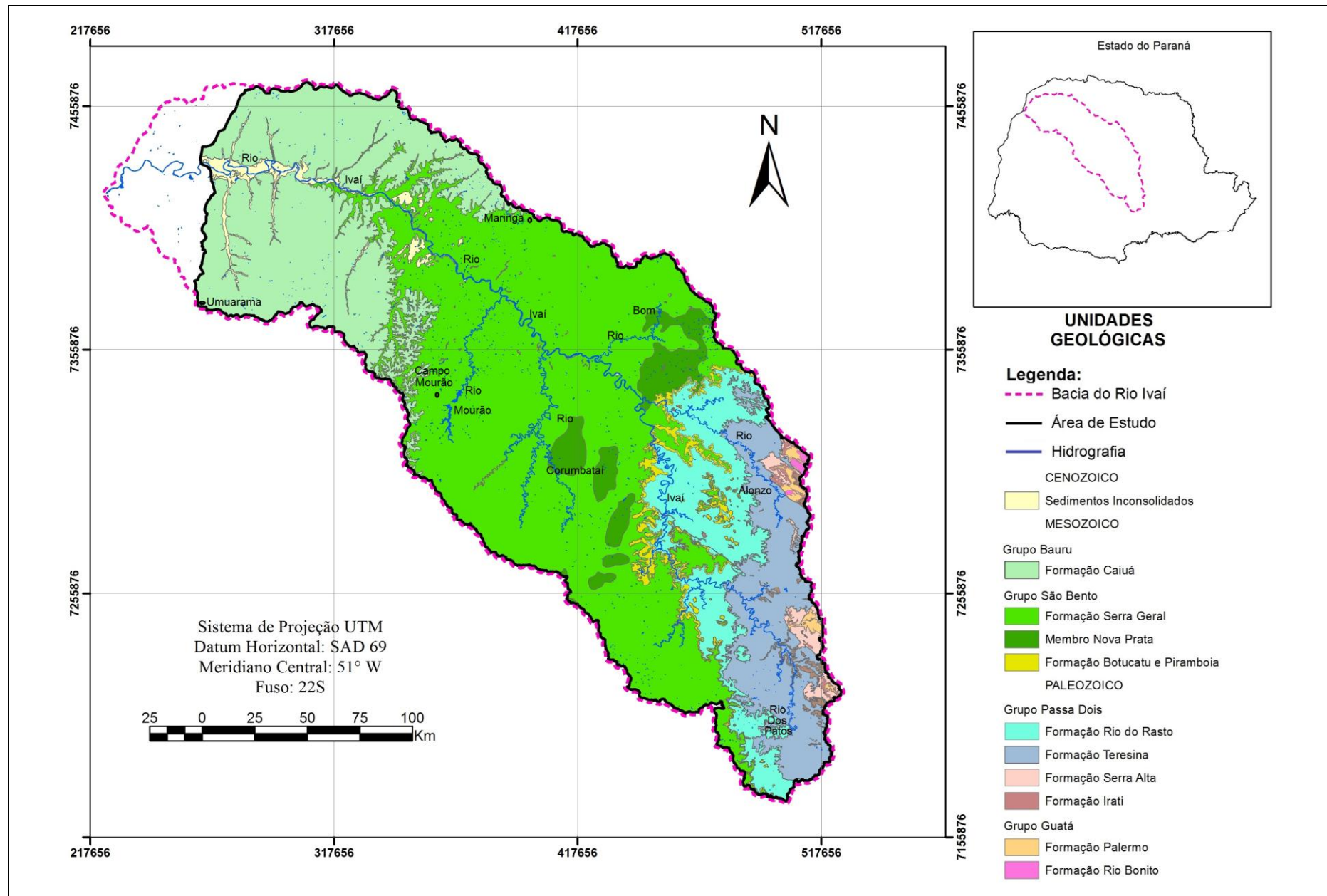


FIGURA 2 – UNIDADES GEOLÓGICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: MINEROPAR, 2006. ORG.: SOARES, M., 2014).

Segundo Thomaz (1984), a duração da era Paleozoica é estimada em 370 milhões de anos e compreende aos seguintes períodos geológicos: Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano. Os terrenos paleozoicos encontram-se no Segundo Planalto Paranaense, na Porção Sul da bacia do rio Ivaí.

De acordo com Baldo (2006), durante o Permiano iniciou-se uma subsidência gradual, determinando uma transgressão marinha que, com pequenas interrupções relativas e rápidas regressões, condicionou a deposição dos sedimentos correspondentes ao grupo Passa Dois, compreendendo as formações Irati, Serra Alta, Terezina e Rio do Rasto (FIGURA 2).

A Formação Irati consiste em uma sequência de folhelhos argilosos e argilitos cinza escuros pirobetuminosos e calcários, indicativos de ambientes de mar fechado. A Formação Serra Alta, possui sedimentos que foram depositados em ambiente marinho raso, de águas calmas, formando rochas do tipo – folhelhos argilosos escuros na base, passando para lentes de calcário e folhelhos argilosos cinza-esverdeados (BALDO, 2006).

A Formação Teresina apresenta ambiente de transição do marinho de águas mais profundas, evoluindo para mar mais raso e de águas agitadas, contendo na sua fase final evidências de continentalidade. As rochas da formação são constituídas essencialmente por finas camadas de siltito com leitos de arenito e intercalações de calcário dolomítico (BALDO, 2006).

A Formação Rio do Rasto marca a passagem da Era Paleozoica para a Era Mesozoica. Verifica-se mudança do ambiente marinho (planície de marés), em sua porção basal, para o ambiente continental (fluvial e deltaica), em sua parte superior, em condições climáticas altamente oxidantes.

As litologias encontradas na formação são os argilitos e siltitos vermelho-arroxeados, arenitos esverdeados, arroxeados, amarelados, esbranquiçados e por vezes avermelhados, e calcarenitos (THOMAZ, 1984; MINEROPAR, 2006).

A Era Mesozoica teve duração de 160 milhões de anos e foi marcada por condições climáticas muito oxidantes, evoluindo até as condições totais de aridez. Tem-se nesse momento o aparecimento do Grupo São Bento, que abrange as formações Piramboia e Botucatu (BALDO, 2006).

A Formação Piramboia foi marcada pela deposição em ambiente fluvio continental dos arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, de

granulometria média a muito fina, com algumas intercalações de finas camadas de argilito e siltito (BALDO, 2006).

A Formação Botucatu foi marcada por um clima seco, típico de deserto, que cobriu quase todo o Sul do Brasil. Apresenta arenitos com estratificações cruzadas de grande porte e paleodunas, comprovando a deposição eólica (BALDO, 2006).

Ainda durante o Jurássico e parte do Cretáceo o Grupo São Bento foi marcado pela maior atividade de vulcanismo fissural do planeta, dando origem à Formação Serra Geral, que recobriu grande parte do imenso deserto de Botucatu (BALDO, 2006).

A Formação Serra Geral engloba as rochas relacionadas com o Trapp basáltico, que cobre a maior porção da bacia do rio Ivaí. Juntamente com os derrames de lavas básicas, houve também, em pequena quantidade, a ocorrência de alguns derrames de lavas ácidas, como os dacitos, riolitos e riodacitos, denominados Membro Nova Prata (MINEROPAR, 2006).

Na porção Noroeste da bacia do rio Ivaí, sobreposto ao basalto da Formação Serra Geral, encontra-se o arenito da Formação Caiuá do grupo Bauru do período Cretáceo, que documentou um clima árido. A Formação Caiuá constitui-se por arenitos de coloração vermelho-arroxeados, muito friáveis, com estruturas cruzadas acanaladas, evidenciando condições deposicionais colúvio-aluvionares. Também, na maioria das vezes, estruturas cruzadas caracteristicamente eólicas (JABUR; SANTOS, 1984).

Durante a Era Cenozoica as litologias do Estado do Paraná estão em alguns locais, parcialmente recobertas por sedimentos inconsolidados, formados durante o Cenozoico, oriundos da erosão e deposição das rochas mais antigas. Na bacia do rio Ivaí esses sedimentos encontram-se concentrados nas proximidades da desembocadura do rio Ivaí, no rio Paraná (BALDO, 2006).

Segundo a MINEROPAR (2006), o processo formador é hidráulico deposicional, fluvial do continente, condicionado pela ação dos rios que drenam a bacia e depositam os sedimentos na planície de inundação.

Na porção Nordeste da bacia do rio Ivaí encontra-se o Grupo Guatá, com predominância de arenitos, carvão, siltitos e folhelhos constituído pela Formação Palermo (siltito, siltito arenoso – plataforma marinha rasa) e Formação Rio Bonito (carvão, folhelhos e siltitos – ambiente deltaico). Apresenta maior instabilidade na

evolução, com fatores climáticos e tectônicos que inibiram a sedimentação proporcionando caráter transgressivo (MINEROPAR, 2006).

2.2 RELEVO DA BACIA DO RIO IVAÍ

Segundo Maack (1981), o sistema orográfico da bacia do rio Ivaí evidencia claramente a correlação das formas existentes com a constituição geológica. As altitudes na bacia variam de 232 m a 1.333 m acima do nível do mar, desde a foz até a nascente (FIGURA 3). O rio Ivaí nasce no Segundo Planalto e corta todo o Terceiro Planalto em sentido noroeste (FIGURA 4).

O Segundo Planalto apresenta-se entre a sucessão dos grandes planaltos do Paraná. De um lado, ao leste, limita-se pela escarpa Devoniana que recebe o nome genérico de Serrinha, e do outro, ao oeste, pela escarpa arenito-basáltica chamada de Serra Geral ou Serra da Esperança. O planalto é constituído por relevos tabulares e cuestiformes, com plataformas estruturais cada vez mais dissecadas. As declividades variam de 10 a mais de 45% para oeste, perdendo altitude no sentido montante para jusante do rio Ivaí (OKA FIORI; SANTOS (Coord.), *et al.*, 2007). As altitudes nessa porção da bacia variam de 600 a mais de 1.200 m, em alguns pontos.

O Terceiro Planalto Paranaense é talhado em rochas eruptivas básicas, capeadas a noroeste por sedimentos mesozoicos (arenito Caiuá). Na porção do Arenito Caiuá, o relevo é uniforme e horizontalizado de colinas convexizadas, caracterizado por extensos altiplanos e platôs suavemente ondulado. As altitudes estão compreendidas entre 300 e 600 m (OKA FIORI; SANTOS (Coord.) *et al.*, 2007) (FIGURAS 3 e 4). O Planalto foi constituído dentro da bacia do rio Ivaí, ao norte pelo Planalto de Apucarana, onde se verificam pequenos espigões, cujas altitudes chegam aos 1.200 m, constituindo divisores de águas secundários com vales mais profundos em direção ao rio Ivaí, à aproximadamente 600 m de altitude (BALDO, 2006).

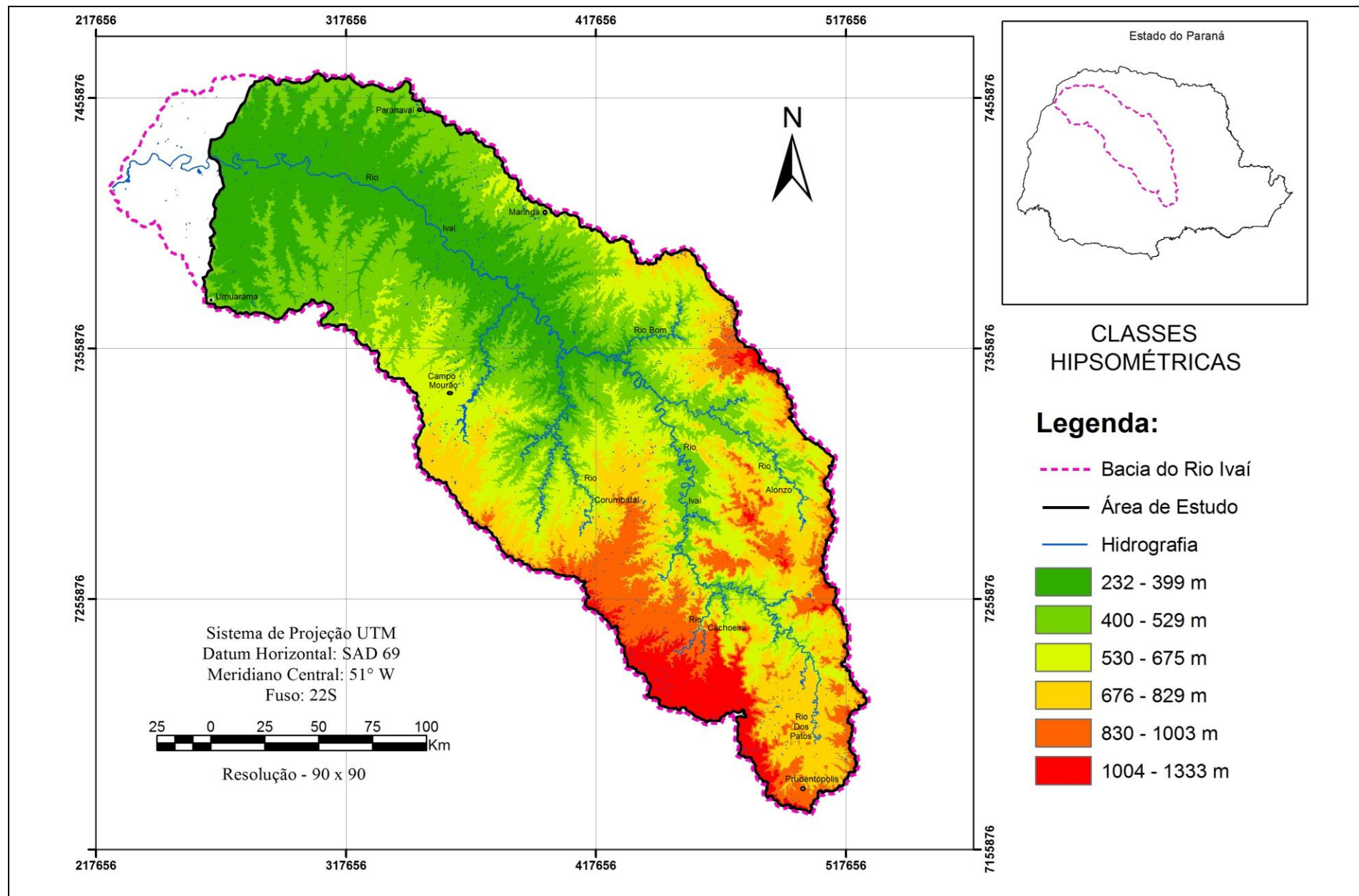


FIGURA 3 – CLASSES HIPSONÉTICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (ADAPTADO DE SRTM, 2003. ORG.: SOARES, M., 2014).

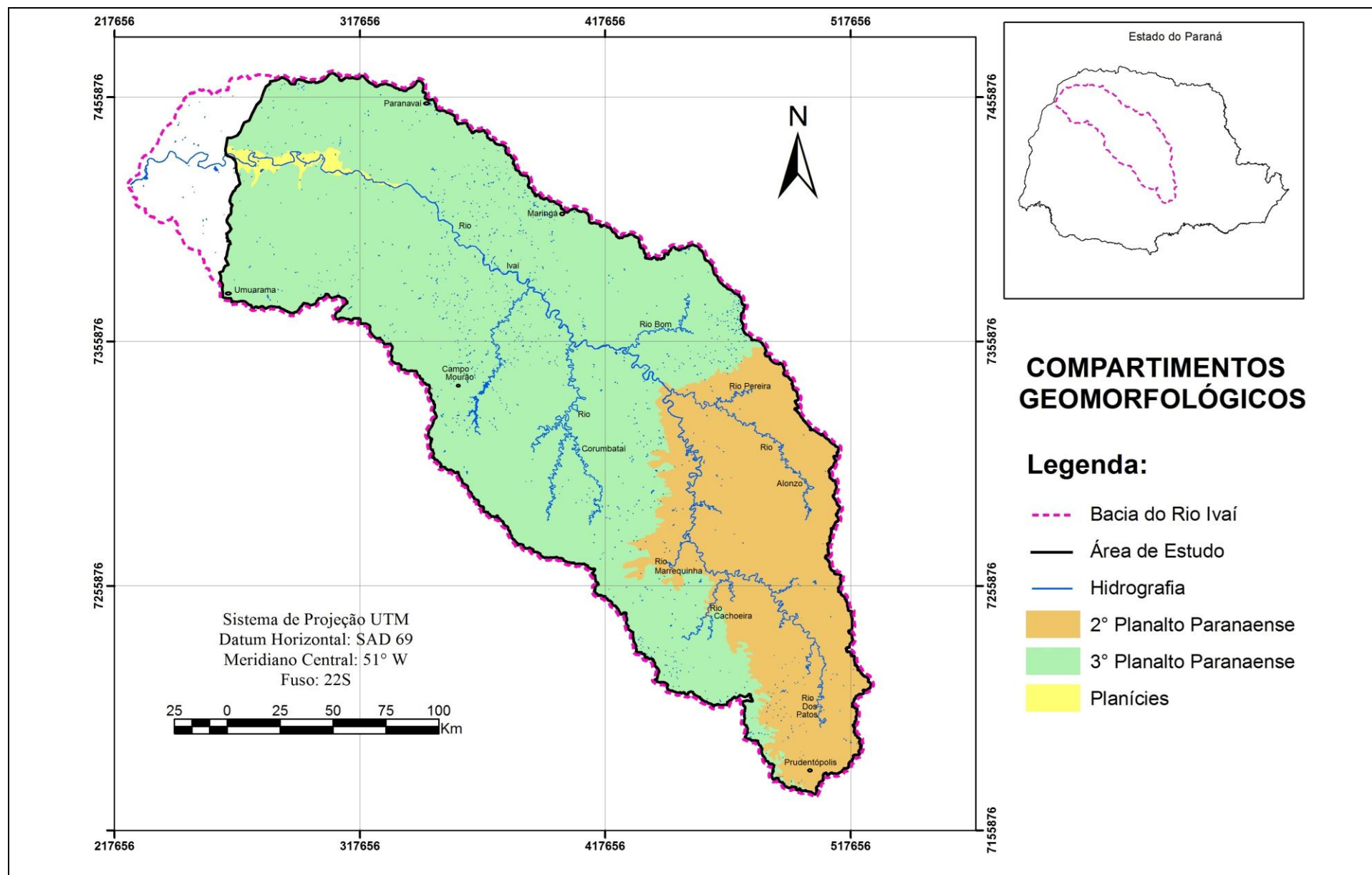


FIGURA 4 – COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: OKA FIORI; SANTOS (Coord.), *et al.*, 2007. ORG.: SOARES, M., 2014).

Entre os rios Ivaí e Piquiri localiza-se o Planalto de Campo Mourão (FIGURA 5), apresentando gradiente de 140 m com altitudes variando de 360 m, nas proximidades da testa da escarpa, a 220 m, nas margens do rio Paraná. As formas predominantes são topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha, modeladas em rochas da Formação Serra Geral (OKA FIORI; SANTOS (Coord.) *et al.*, 2007; MAACK, 1981).

Geomorfologicamente, o vale do rio Ivaí se desenvolve sobre cinco compartimentos, que são de jusante para montante: Superfície de Guaíra, constituída pelas Planícies Fluviais e os Planaltos de Umuarama e Paranavaí; Secção dos Saltos, constituída pelo planalto de Campo Mourão; Ciclo de Cândido de Abreu, constituído pelo planalto Cândido de Abreu; Superfície de Prudentópolis, constituída pelos planaltos Residuais da Formação Serra Geral e de Prudentópolis; e, Superfície de Guarapuava, constituída pelos planaltos do Alto Ivaí e Residual da Formação Teresina (FIGURA 5).

A Superfície de Guaíra compreende o trecho onde o perfil cruza a cota de 250 m e se observa ruptura de declive. A secção, de 300 km, apresenta declive de 30 m, dando a média de 10 cm km^{-1} sobre o eixo do vale, o que constitui a mais modesta inclinação de todo o perfil em discussão.

A Secção dos Saltos compreende a região mais a montante em relação a anterior, onde a altitude aumenta 240 m em 120 km, declive médio de 2 m km^{-1} . É a única secção do rio Ivaí que apresenta acidentes que na toponímia local se denominam “saltos”, enquanto os trechos rápidos que ocorrem em outras secções recebem apenas o nome de “corredeiras”.

O ciclo de Cândido de Abreu, compreendido 100 km de comprimento, com inclinação de 40 cm km^{-1} é cinco vezes mais suave que a secção dos Saltos.

A superfície de Prudentópolis corresponde à secção da montante da bacia do rio Ivaí, sendo representada nas cotas de 750 a 800 m, aproximadamente, abrigando o sítio da cidade de Prudentópolis.

A superfície de Guarapuava, a última secção do perfil longitudinal, drena subsequentemente a escarpa arenítica basáltica, nascendo sobre a superfície de Guarapuava, que constitui o alto reverso da mesma *cuesta* a cerca de 1.200 m de altitude.

De acordo com Oka Fiori; Santos (Coord.) *et al.* (2007), outras subunidades morfoesculturais na bacia do rio Ivaí são (FIGURA 5):

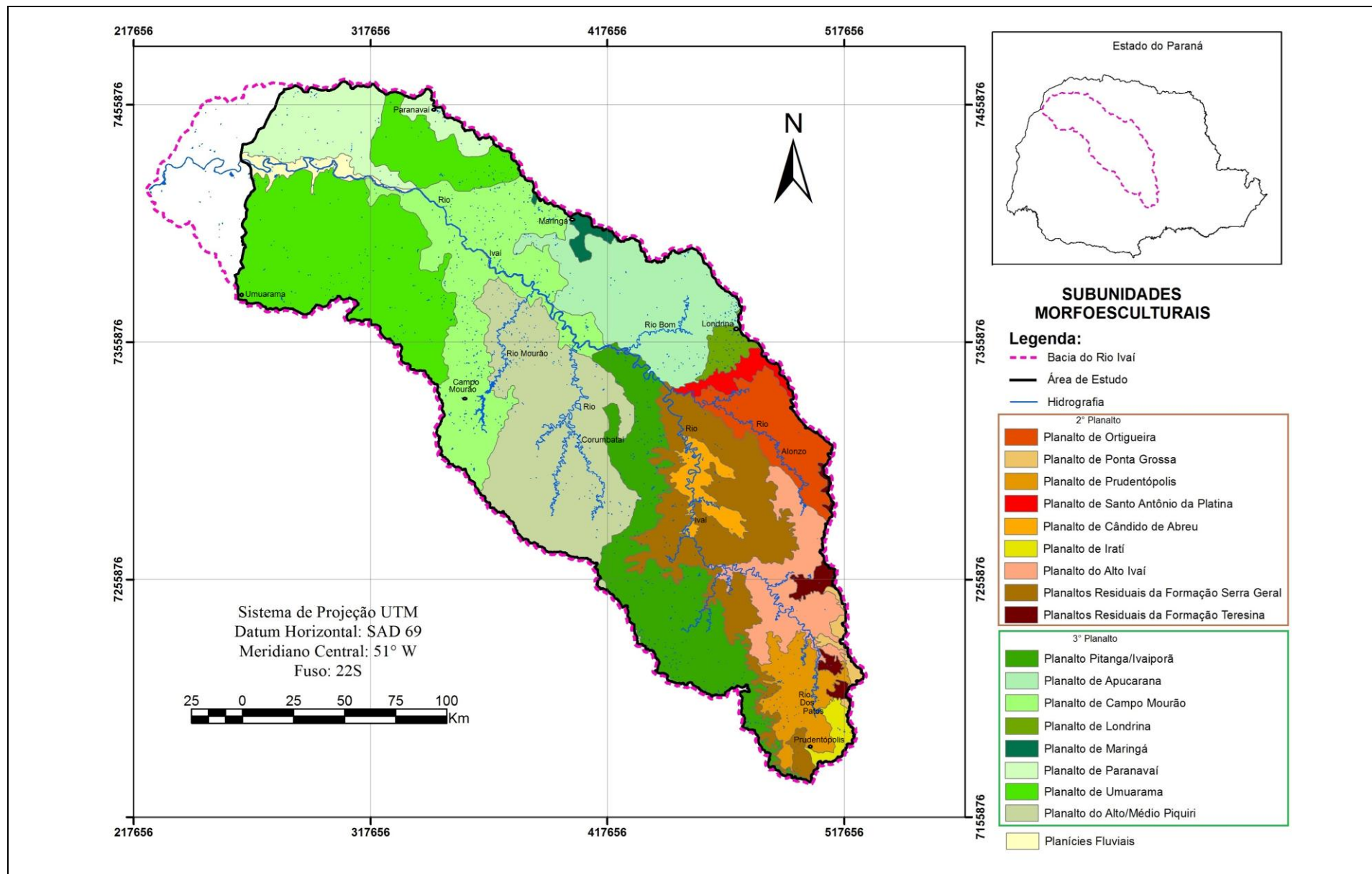


FIGURA 5 – SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: OKA FIORI; SANTOS (Coord.), *et al.*, 2007. ORG.: SOARES, M., 2014).

- Planalto Pitanga/Ivaiporã - Situada no Terceiro Planalto Paranaense, apresenta dissecação média e classe de declividade predominante menor que 12%. Em relação ao relevo, apresenta gradiente de 860 m com altitudes variando entre 360 e 1.220 m. As formas predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”, modeladas em rochas da Formação Serra Geral;
- Planalto Alto/Médio Piquiri - Situada no Terceiro Planalto Paranaense, apresenta dissecação média e classe de declividade predominante entre 12-30%. Em relação ao relevo, apresenta gradiente de 900 m com altitudes variando entre 320 e 1220 m. As formas predominantes são topos alongados e isolados, vertentes convexas e côncavo-convexas e vales em “U” aberto, modeladas em rochas da Formação Serra Geral;
- Planalto de Apucarana - Situada no Terceiro Planalto Paranaense, apresenta dissecação alta e classe de declividade predominante entre 12-30%. Em relação ao relevo, apresenta gradiente de 380 m com altitudes variando entre 360 e 740 m. As formas predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”. A direção geral da morfologia é NW/SE, modelada em rochas da Formação Serra Geral;
- Planalto de Ortigueira - Situada no Segundo Planalto Paranaense, apresenta dissecação alta e classe de declividade predominante entre 6-30%. Em relação ao relevo, apresenta gradiente de 640 m com altitudes variando entre 500 e 1.140 m. As formas predominantes são topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em “V”. A direção geral da morfologia é NW/SE, modelada em rochas da Formação Teresina.

2.3 SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ

A bacia do rio Ivaí, tanto em termos pedológicos como edafológicos, é uma região privilegiada na questão das possibilidades de exploração, uso, ocupação e produção dos seus solos. A bacia por apresentar grande extensão territorial possui também variedade muito grande de solos. Dentre os mais encontrados, destacam-se: Cambissolos, Latossolos, Argissolos, Nitossolos e Neossolos, segundo a classificação da EMBRAPA (1984), atualizadas a partir dos dados obtidos junto a EMBRAPA (2008) (FIGURA 6). Na pesquisa, não houve reconhecimento de campo, apenas pesquisa bibliográfica para a determinação das classes de solos.

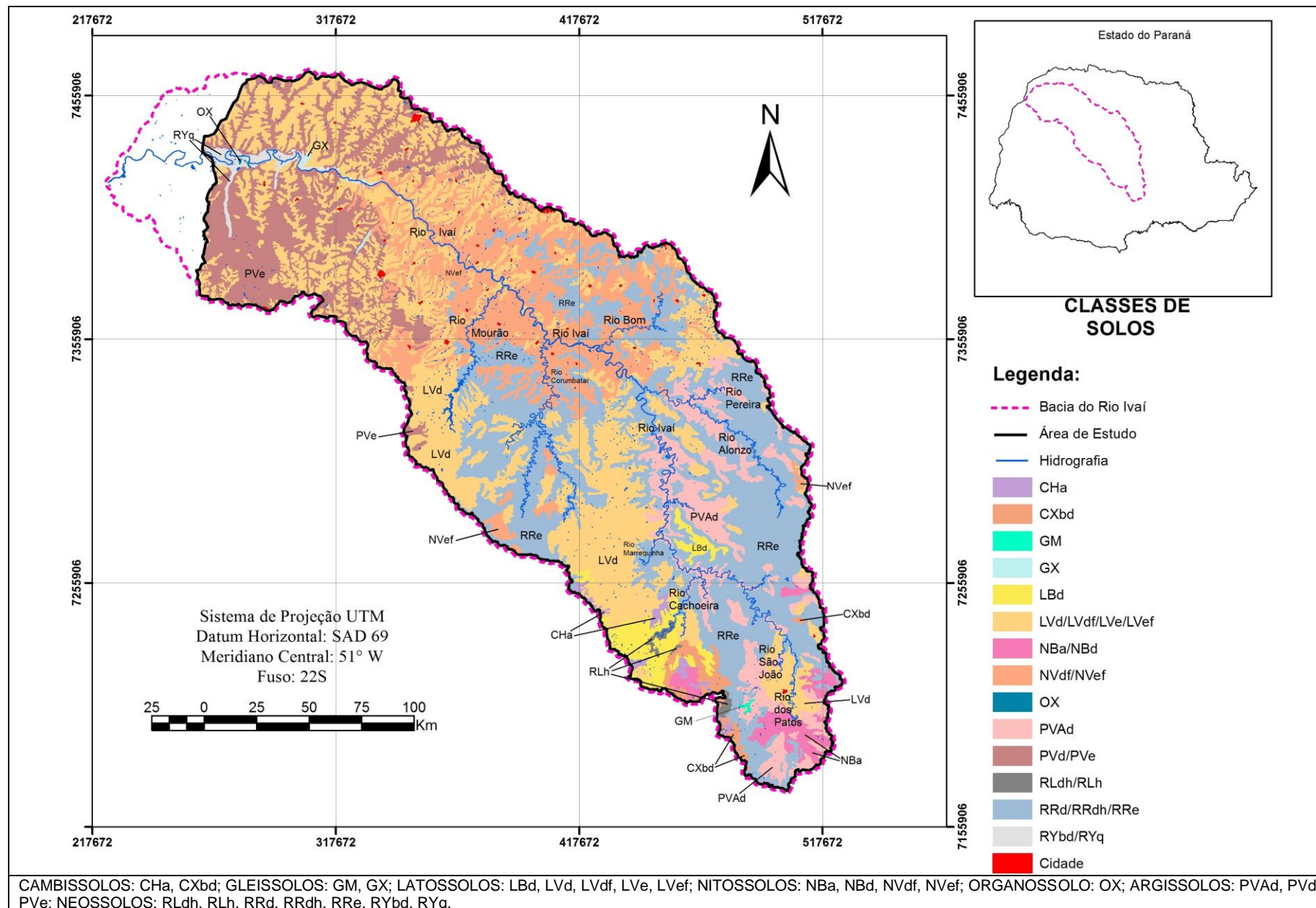


FIGURA 6 – PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: EMBRAPA, 2008. ORG.: SOARES, M., 2014).

Os Neossolos (RLdh, RLh, RRd, RRdh, RRe) são encontrados em grandes extensões, principalmente na porção média e superior da bacia do rio Ivaí. Ocorrem normalmente em área de relevo forte ondulado e montanhoso, e também em relevo suave ondulado e escarpado. Compreendem solos jovens e rasos, de espessura em geral inferior a 40 cm (EMBRAPA, 2008).

Os Cambissolos (CHa, CXbd) são em sua maioria pouco profundos (50 a 130 cm de espessura). Encontrado em áreas muito restritas dentro da bacia do rio Ivaí, são formados a partir da meteorização de rochas eruptivas básicas e sedimentares, principalmente siltitos, do Grupo Passa Dois.

Os Latossolos são muito profundos, friáveis, muito porosos, acentuadamente drenados e de coloração variável. Na área de estudo são encontrados os Latossolos Vermelhos Eutroférico (LVef), Eutrófico (LVe), Distroféricos (LVdf) e Distrófico (LVd), formados de rochas eruptivas básicas. Os Latossolos Brunos (LBd) são derivados de rochas eruptivas intermediárias (básicas e ácidas), e apresentam textura muito argilosa. Os Latossolos Vermelho textura argilosa são derivados de basaltos, com influência de arenitos e siltitos, e os de textura média são derivados de arenito da formação Caiuá.

Os Argissolos (PVAd, PVd, PVe) são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural e sequência de horizontes geralmente A-Bt-C ou A-E-Bt e também A-Btx-C. Na área de estudo são encontrados os Argissolos Vermelho-amarelos textura média/argilosa, derivados de rochas sedimentares, principalmente de folhelhos argilosos e siltosos.

Os Argissolos Vermelho-amarelos textura arenosa/média ocorrem sob rochas sedimentares da Formação Caiuá, em relevo suave ondulado a ondulado. Os Argissolos Vermelho-amarelos Abrúpticos textura média/argilosa são encontrados em áreas de relevo ondulado a suave ondulado e são derivados de folhelhos, siltitos, argilitos do Grupo Passa Dois. Os Argissolos Vermelho-amarelos abrupáticos textura arenosa/média ocupam as partes de relevo mais movimentados em praticamente todos os municípios cujos solos são formados do arenito Caiuá.

Os Nitossolos (NBa, NBd, NVdf, NVef) compreendem solos minerais, não hidromórficos, com baixo gradiente textural, ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio. São profundos, argilosos, porosos, bem drenados, de coloração avermelhada. Na área de estudo são comuns os Nitossolos Vermelhos Distroféricos Latossólicos. Ocorrem na região de derrames de lavas básicas, normalmente em

relevo ondulado, podendo também ser encontradas em áreas mais suaves ou mais acidentadas, situando-se, em geral, nas meias encostas das elevações. Os Nitossolos Háplicos ocorrem com maior frequência em relevo suave ondulado e apresenta textura argilosa ou muito argilosa, sendo derivada de basaltos.

Os Neossolos Flúvicos (RYbd, RYq) são solos não hidromórficos, pouco desenvolvidos, derivados de sedimentos aluviais ou colúvio aluviais não consolidados. Ocorrem em relevo plano, nos terraços próximos aos rios ou ocupando partes de algumas ilhas.

2.4 CLIMA NA REGIÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ

Segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 1994) o clima da área de estudo está enquadrado em dois tipos principais: o primeiro é tropical e abrange o curso inferior e o médio da bacia; e, o segundo, subtropical e compreende o curso superior da bacia.

Na porção do baixo Ivaí, os maiores totais médios de temperatura acima de 22 °C, ocorrem em outubro, janeiro e dezembro, enquanto os menores valores, em torno dos 9 °C, acontecem nos meses de agosto, julho e abril (CARAMORI, 1989).

Apenas um período seco durante o ano atinge a porção localizada a noroeste da bacia do rio Ivaí. Os valores médios anuais de precipitação pluviométrica estão entre 1.250 e 1.750 mm (FIGURA 7), sendo os meses de dezembro e janeiro os mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (BALDO, 2006).

Ainda em relação à pluviosidade, Baldo (2006) compartimentou a bacia do rio Ivaí em quatro grupos, por meio da similaridade do padrão pluviométrico, sendo eles:

- Grupo A – Abrange a região do baixo Ivaí, onde se verificam precipitações anuais médias de 1.443 mm, sendo que a mais baixa de toda a bacia encontra-se em área de transição climática com expressivas características de tropicalidade;
- Grupo B – Localiza-se na área de transição do médio para o baixo Ivaí, este abrangendo características semelhantes ao grupo A, mas com pluviosidades anuais superiores, sendo registrados valores médios anuais de 1.609 mm;

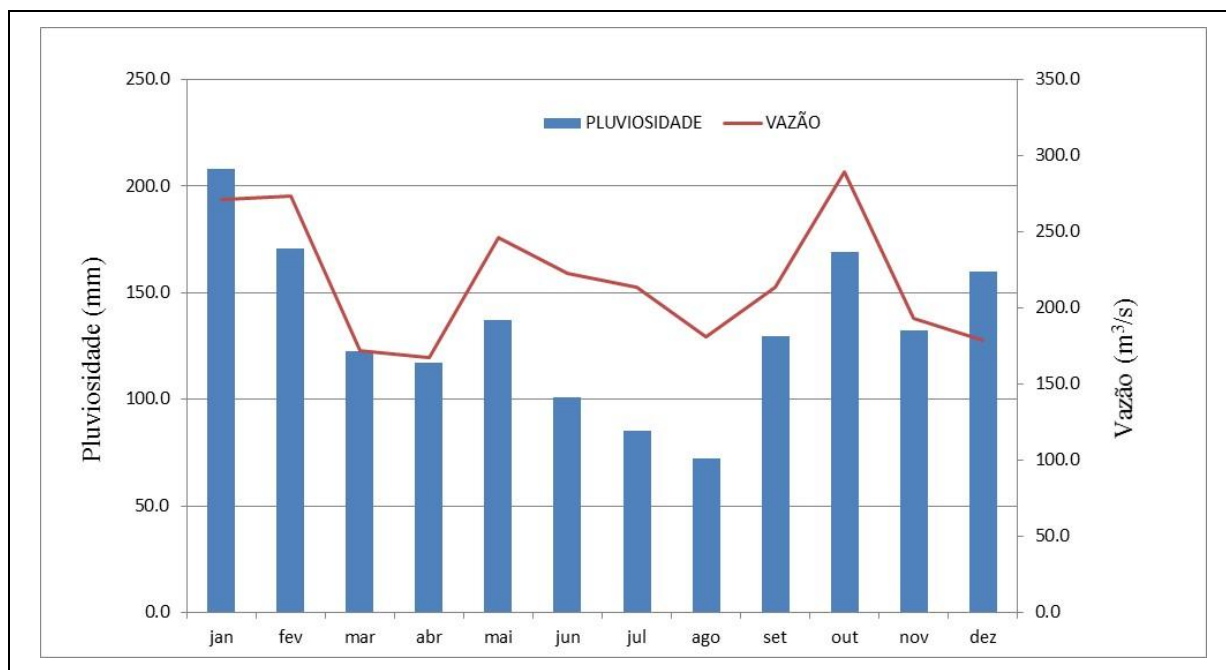


FIGURA 7 – COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO MÉDIA MENSAL DO RIO IVAÍ (1985-2012)
 FONTE DOS DADOS: ÁGUASPARANÁ (2012); ORG.: SOARES, M., (2014)

- Grupo C – Abrange a região do alto e médio curso do rio Ivaí, inserido na área de transição entre o Segundo e Terceiro Planalto e na transição entre o clima tropical e subtropical. Possui pluviosidades médias anuais de 1.706 mm;
- Grupo D – Compartimento inserido na transição do Segundo para o Terceiro planalto, mais precisamente no curso superior do rio Ivaí, onde se encontram os municípios de Guarapuava e Pitanga. O compartimento registra os maiores valores de precipitação média anual para todos os grupos (1.822 mm), tendo clima predominante o subtropical.

Andrade e Nery (2002) compararam a variabilidade da pluviosidade na bacia do rio Ivaí com a variabilidade da temperatura da superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico. Concluíram que a região estudada sofre interferência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*. Os anos que apresentaram as maiores correlações foram 1982 e 1983 (anos de *El Niño*) e 1985 (ano de *La Niña*).

No período analisado, na área de estudo, 2009 apresentou a maior média pluviométrica mensal e 1998 a maior média de vazão (FIGURA 8).

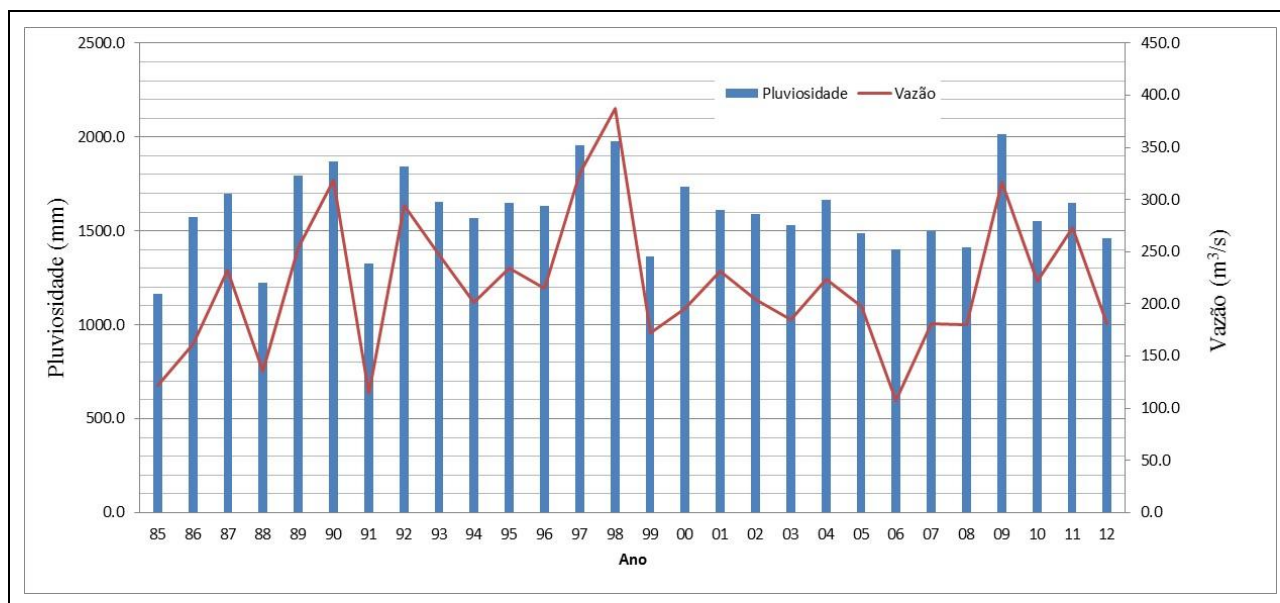


FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO HIDROLÓGICA DO RIO IVAÍ (MÉDIA ANUAL). FONTE DOS DADOS: ÁGUASPARANÁ (2012); ORG.: SOARES, M., (2014)

As etapas de estudo do clima, dirigidas para análise da agressividade climática, resultaram no estabelecimento do parâmetro potencial erosivo da chuva ou erosividade da pluviosidade, como forma de representá-lo quantitativamente, abordado no Capítulo 5.

2.5 HIDROGRAFIA DA BACIA DO RIO IVAÍ

O rio Ivaí drena uma área aproximada de 36.000 km², e recebe este nome a partir da confluência dos rios dos Patos e São João, na divisa entre os municípios de Prudentópolis e Ivaí. Segue em direção a noroeste até desembocar no rio Paraná (FIGURA 9). As nascentes do rio dos Patos estão localizadas a noroeste do município de Irati, com altitude aproximada de 1.120 m, reduzindo-se para 500 m na junção do rio São João (ÁGUASPARANÁ, 2012).

O rio Ivaí pode ser considerado predominantemente de planalto e, como tal, tem reduzida capacidade de navegação, pois apresentam no seu percurso algumas quedas e muitas corredeiras, principalmente nos trechos superior e médio. Contudo, as características oferecem grande potencial hidroenergético na bacia, estimados em 1.320 MW. O potencial aproveitado é de aproximadamente 26,15 MW (BRASIL, 1985).

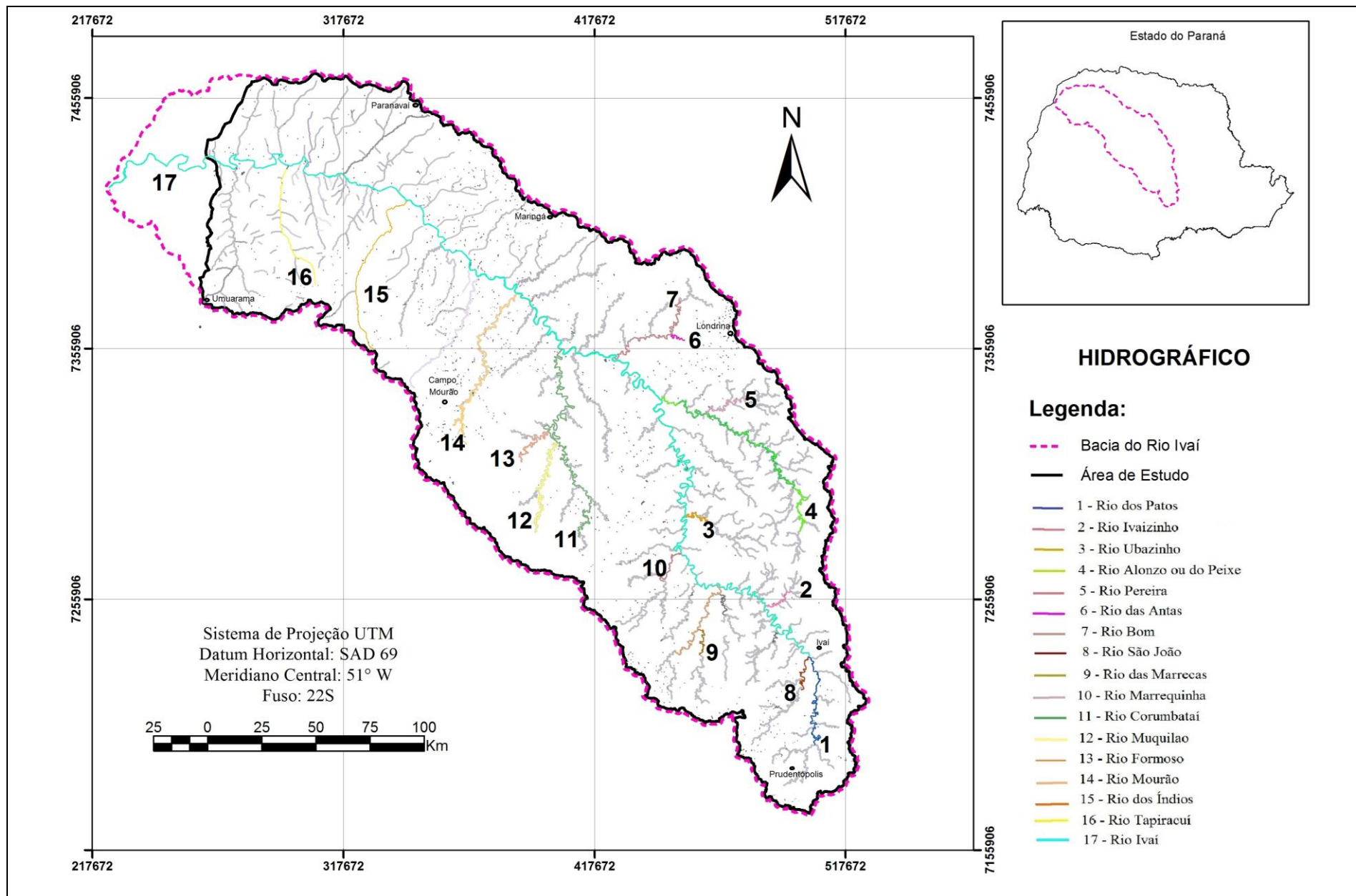


FIGURA 9 – RIOS PRINCIPAIS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (ADAPTADO DE ÁGUASPARANÁ, 2012. ESCALA ORIGINAL: 1:50.000. ORG.: SOARES, M., 2014).

Atualmente estão em projeto as hidrelétricas de Salto Ariranha, Foz do Alonzo, Ubaúna, São João do Ivaí, Bela Vista do Ivaí, Ivatuba e Três Figueiras, somando potencial de 886 MW. Somente nos últimos 250 km, no trecho inferior, o rio Ivaí apresenta condições favoráveis à navegação (BRASIL, 1985; ÁGUASPARANÁ, 2012).

Segundo Maack (1981), o rio Ivaí recebe na sua bacia hidrográfica mais de 100 afluentes. Entre os mais expressivos em comprimento e volume de água podem-se destacar: na margem direita, rios Dos Patos, Ivaizinho, Ubazinho, Alonzo (ou do Peixe), Pereira, Das Antas, e Bom; e na margem esquerda, rios São João, Marrecas, Marrequinha, Corumbataí, Muquillao, Formoso, Mourão, Dos Índios e Tapiracuí (FIGURA 9).

Em virtude da variação dos tipos de rocha, relevos e solos presentes na bacia, há um acompanhamento do sistema de drenagem. Na área recoberta pelo arenito da Formação Caiuá, no curso inferior, onde se encontram as mais baixas declividades e solos muito permeáveis, o sistema de drenagem é mais aberto e retilíneo. A drenagem possui forte controle estrutural, com predomínio de padrões de drenagem do tipo treliça e retangular, devido os alinhamentos tectônicos. O canal do rio Ivaí encontra-se encaixado, deslocado para a margem direita, sendo possível identificar nas bordas os diques marginais, originados por decorrência de inúmeras inundações do rio Ivaí (FUJITA, 2009).

Na porção tomada pelos derrames de lavas básicas (médio ao alto curso) o sistema de drenagem é mais denso e meandrante, expressando textura argilosa a muito argilosa dos solos, grande dureza, baixa permeabilidade do basalto e declividade mais elevada em alguns pontos (FIGURAS 2 e 9).

Segundo Bittencourt (1982) o sistema hidrográfico da bacia do rio Ivaí está distribuído sobre três compartimentos geológicos da bacia do Paraná: Grupo Passa Dois (Sequência Sedimentar Paleozóica); Grupo São Bento, incluindo os basaltos da formação Serra Geral; e, a Formação Caiuá, com outros sedimentos arenosos a ela relacionados (FIGURA 9). Os compartimentos geológicos possibilitaram o levantamento de dados em algumas sub-bacias, avaliando as taxas de perda de material por veiculação hídrica. Os dados foram levantados entre os anos de 1974 e 1977, sendo realizadas medições de vazão líquida, e monitoramento de sólidos transportados em suspensão e por arraste de fundo no rio Ivaí e em quatro sub-bacias.

A erosão da calha dos rios é diferenciada com transporte de sólidos por águas superficiais de rios sobre basaltos e sobre depósitos supra basálticos arenosos (BITTENCOURT, 1982). Os rios sobre terrenos basálticos em geral correm diretamente sobre lages desta rocha, sendo pequena a erosão física do leito. Os rios que correm sobre formações arenosas, apresentam intensa movimentação de sólidos originados de sua própria calha, esculpida em sedimentos pouco resistentes à ação erosiva de suas águas.

Analisado o regime hidrológico do rio Ivaí, Destefani (2005) constatou que o rio apresenta baixa periodicidade, sem um período sazonal definido de cheia e estiagem. A oscilação entre as vazões máximas e mínimas se manteve ao longo das séries históricas. As vazões não possuem período definido de ocorrência, ou seja, podem ocorrer em qualquer mês e mudam de um ano para outro. Verificou-se a existência de correlação entre os altos e baixos valores de vazão e os anos identificados como *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. A bacia de drenagem do rio Ivaí não apresenta grande capacidade de armazenamento. As vazões de maior magnitude registradas em períodos de maior concentração de chuva têm resposta rápida de vazão. O padrão deve-se principalmente à forma da bacia, cuja área de captação é pequena em relação ao comprimento do canal.

A precipitação pluviométrica é, dentre outros elementos e fatores a ser considerado, o elemento climático mais importante para definir o padrão de vazão nas mais diferentes escalas temporais de análise para um sistema fluvial, pois é a principal entrada de água na bacia hidrográfica. Se o padrão pluvial da bacia apresentar distribuição temporal espacial homogênea durante o ano é bem provável que assim será a tendência do regime fluvial, não apresentando sazonalidade acentuada.

A montante da bacia hidrográfica do Ivaí, a distribuição pluvial é bastante homogênea no decorrer do ano, sendo altos os valores registrados. O mesmo não ocorre à jusante da bacia. Principalmente na porção noroeste, há um declínio dos valores pluviométricos no inverno (BALDO *et al.*, 2002). Mesmo assim acredita-se que não há interferência significativa nos valores de vazão, pelo fato de ocorrer à jusante. Certamente esta característica climática propicia o regime pluvial descrito por Destefani (2005).

O perfil longitudinal do rio Ivaí (FIGURA 10) foi elaborado com base nas informações de altitude das estações de monitoramento de vazões, distribuídas na

área de estudo, bem como sua distância ao longo do rio principal. O rio Ivaí percorre aproximadamente 650 km da primeira estação com 520 m de altitude até a última estação de monitoramento de vazão, que se situa na altitude de 240 m. A amplitude média da desembocadura entre a primeira e a última estação de monitoramento analisada é de 280 m de altitude.

A foz do rio Ivaí, que desemboca no rio Paraná mediante interposição de uma ilha aluvial, tem migrado consideravelmente, resultando em paisagem pontilhada de lagoas e clareiras de inundação. A característica é explicada pela enorme quantidade de sedimentos transportados pelo rio.

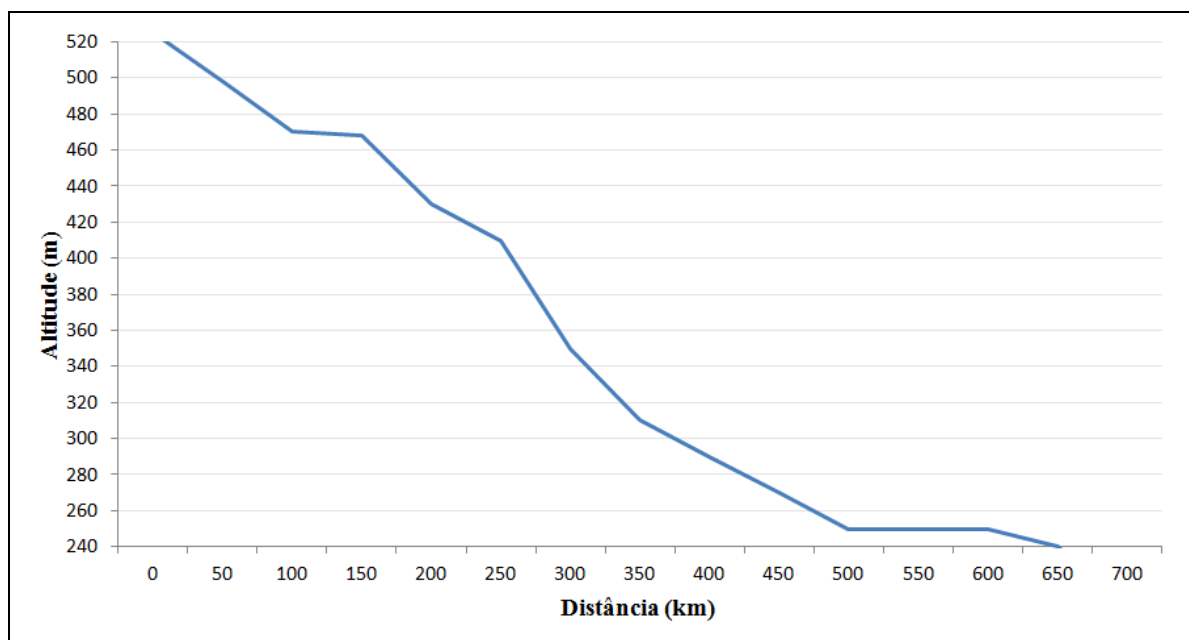


FIGURA 10 – PERFIL LONGITUDINAL BASEADO NOS POSTOS DE VAZÃO DO RIO IVAÍ – PR.
FONTE DOS DADOS: ÁGUASPARANÁ (2012).

As informações serviram de base para a setorização da área de estudo em 14 sub-bacias, ponto integrante do método DFC para a posterior avaliação dos resultados com a vazão.

2.6 UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ

A vegetação é o reflexo da interação de um conjunto de fatores naturais, entre os quais notadamente a altitude, latitude, clima e formação pedológica

(REGER *et al.*, 2014). Na bacia, de forma geral, a vegetação natural foi quase totalmente retirada e transformada em campos de cultivo ou pastagens. O desmatamento ocorreu em vários momentos históricos, iniciando-se no século XX ao sul, indo até as décadas de 40 a 60 do mesmo século, a noroeste e oeste da bacia (MAACK, 1981).

O processo de retirada da vegetação natural e as várias formas de uso da terra com finalidades agropecuárias ou urbanas modificam o tempo de permanência da água na bacia hidrográfica. A permeabilidade diminui e, conseqüentemente, o armazenamento hídrico em reservatórios subterrâneos é afetado (CERTINI, 2005). A cobertura vegetal primitiva, segundo a nomenclatura utilizada pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1992), é formada pela Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e Savana (FIGURA 11). A Floresta Ombrófila Mista que originalmente ocupava cerca de 40% do território do Paraná, 30% de Santa Catarina e 25% do Rio Grande Sul, atualmente não passa de 1% da floresta original (IBAMA, 2005).

A Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária) é uma unidade fitoecológica onde se contempla a mistura de representantes das floras tropical e temperada (REIS *et al.*, 2007). Encontra-se nos setores médio e superior da bacia o rio Ivaí, que se divide em Floresta Ombrófila Mista Montana, Altomontana e Ombrófila Mista Aluvial (RODERJAN *et al.*, 2002). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1992), essas formações florestais são típicas e exclusivas dos planaltos da Região Sul do Brasil, e encontram-se predominantemente entre 800 e 1200 m, podendo eventualmente ocorrer acima desses limites.

A Floresta Ombrófila Mista Montana apresenta o pinheiro-do-paraná como estrato dominante e contínuo acima de 30 m de altura, podendo ocorrer indivíduos emergentes acima de 40 m (KOZERA *et al.*, 2006). Em altitudes superiores a 1.200 m, ocupando superfície pouco expressiva, encontram-se as formações altomontanas. Fisionomicamente são similares às montanas, no entanto, pelo rigor climático, possuem menor diversidade florística. Os solos são igualmente similares, destacando-se Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos (RODERJAN *et al.* 2002).

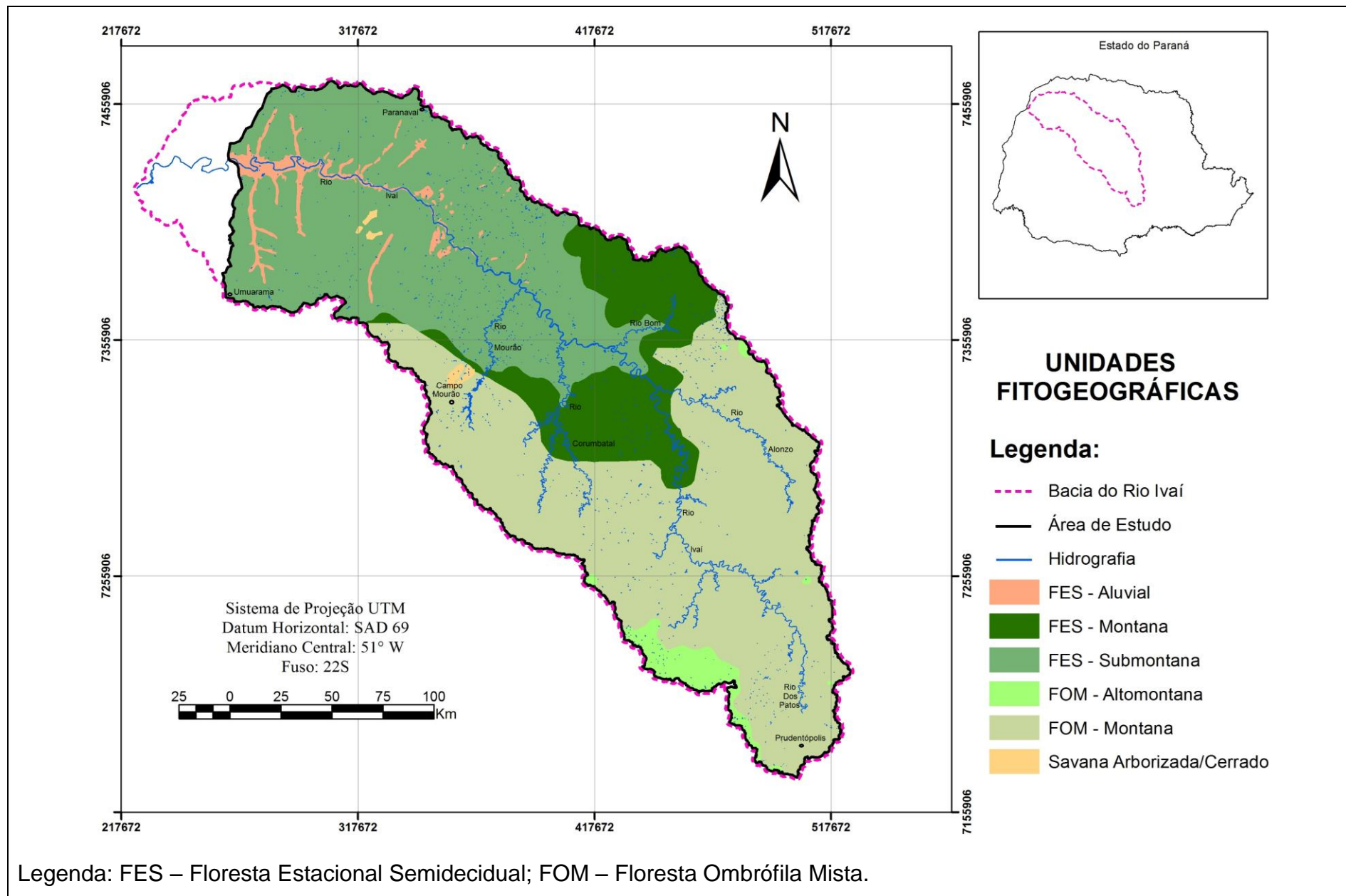


FIGURA 11 – UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. (FONTE: ITCG, 2009. ORG.: SOARES, M., 2014).

A Floresta Ombrófila Mista Aluvial corresponde às vegetações ripárias, também denominadas de florestas ciliares ou de galeria. Se desenvolvem às margens de rios que percorrem terrenos de topografia plana até suave-ondulada, não raro fazendo limite a várzeas (formações pioneiras) de extensão variável (SOCHER, *et al.*, 2008).

A Floresta Estacional Semidecidual ocupa a maior porção do Terceiro Planalto Paranaense. A principal característica fisionômica é a semidecidualidade, conceito ecológico condicionado pela dupla estacionalidade climática: uma tropical, com épocas de intensas chuvas de verão, seguidas por estiagem acentuada; e, outra subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo frio de inverno (DETTKE *et al.*, 2008). De acordo com o IBGE (1992), nesse tipo de vegetação a porcentagem de árvores que perdem as folhas (caducifólias) nos conjuntos florestais, situa-se entre 20 e 50%. Segundo Baldo (2006), trata-se de floresta exuberante, com grande diversidade de espécies vegetais, desenvolvida sobre as férteis terras roxas do Norte do Estado. Sobre o arenito Caiuá, no Noroeste, assume porte menor e também relativa redução da diversidade, em função das características limitantes do solo e do baixo índice pluviométrico. As formações florestais dividem-se em floresta estacional semidecidual submontana e estacional semidecidual aluvial (RODERJAN *et al.*, 2002; MAACK, 1981).

Savana (cerrado) é conceituada vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional, podendo ser encontrada também em clima ombrófilo (CERVI; VON LINSINGEN, 2008). A savana é de origem semelhante à das estepes. Pequenas manchas ocorrem nas regiões Nordeste e Centro-Norte do Paraná, com fisionomia e florística semelhantes àquelas dos planaltos do Brasil Central, na principal área de ocorrência.

Estepe é de constituição essencialmente graminoide e é encontrada sobre relevos suave ondulados. As estepes compõem elemento característico da paisagem dos planaltos do Sul do Brasil. A origem remonta ao início do atual período pós-glacial, como colonizadora da superfície estéril resultante do clima anterior. A manutenção é garantida pela ocorrência regular do fogo, de causa natural ou antrópica (GONÇALVES; MELO, 2005). A monotonia da paisagem dos campos é abrandada pela ocorrência de agrupamentos arbóreos marginais aos rios ou isolados sobre o campo. Possui formas e dimensões variáveis, onde sobressai o pinheiro-do-paraná, associado a diferentes grupos de espécies arbóreas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O acelerado desenvolvimento tecnológico proporciona avanços à civilização moderna, entretanto, as mudanças comprometem os recursos naturais. O aumento populacional demanda mais recursos naturais que, somados à carga de poluição dos centros urbanos e industriais, ocasionam os desequilíbrios ambientais. (LAMBIN; MEYFROIDT, 2011).

Existem regiões no mundo que enfrentam problemas sérios relacionados à escassez de água. O problema nem sempre é a escassez, mas a quantidade de água doce disponível à população humana. A maioria das crises é causada pela má utilização e distribuição da água (HANJRA; QURESHI, 2010). Destaca-se assim, a importância e a necessidade de avaliação de abordagens sistêmicas que possibilitem estudo integrado do meio físico para o entendimento e a manutenção do equilíbrio ambiental (CARMO *et al.*, 2007).

3.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O crescimento populacional é responsável pelo aumento da demanda de recursos naturais e pela geração de resíduos lançados ao meio ambiente. Assim é fundamental desenvolver e implantar mecanismos de gerenciamento e controle dos ecossistemas terrestres, principalmente naqueles em que a ação humana se faz de maneira inadequada. Neste contexto, o planejamento ambiental visa ordenar as atividades humanas para que elas originem o menor impacto possível sobre o meio. A organização vai desde a escolha das melhores técnicas até o cumprimento da legislação e a alocação correta de recursos humanos e financeiros com ampla participação dos interessados (REED, 2008).

No planejamento ambiental há a necessidade inicial de diagnosticar os recursos renováveis e não renováveis (ar, solo, flora e fauna) em interação com os aspectos socioeconômicos e culturais. O diagnóstico permitirá a elaboração de propostas envolvendo aspectos jurídicos e administrativos para o governo e sociedade (LYNAM *et al.*, 2007).

Uma das questões em pesquisas ambientais é a definição de unidades ambientais para viabilizar o espaço de análise. Estudos apontam a bacia hidrográfica como a unidade mais adequada para o tratamento dos componentes e da dinâmica das interrelações concernentes ao planejamento e à gestão ambiental, especialmente no âmbito regional (COHEN; DAVIDSON, 2011; MOLLE, 2009; WARNER *et al.*, 2008). A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico aberto, com troca de energia e matéria com o meio, onde seus componentes estão diretamente relacionados e não podem ser analisados separadamente (KONRAD *et al.*, 2011).

Botelho (2000) considera que a partir da escolha da bacia hidrográfica como categoria analítica é possível entender o funcionamento da dinâmica natural do ambiente que origina os processos e formas da paisagem. Dentro dos estudos da geografia física, a bacia hidrográfica possibilita a compreensão da geomorfologia, geologia, hidrologia, clima e vegetação e da interrelação dos elementos.

O planejamento ambiental considera e tem utilizado a bacia hidrográfica como a melhor unidade para o manejo dos recursos naturais. Trata-se de uma unidade física que pode ser bem delimitada, cujos processos de funcionamento identificados. O insucesso no gerenciamento de bacias hidrográficas é percebido nas externalidades ambientais negativas, como: degradações de solo, perda de produtividade, assoreamento, redução de vazão, enchentes, baixa qualidade da água e a retirada da cobertura vegetal dos mananciais.

Sobre o processo que envolve o planejamento e gestão em bacias hidrográficas, Alves Sobrinho *et al.* (2010) menciona que:

No Brasil, a Lei Federal no 9.433/97 estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A fixação dessas unidades básicas envolve a abrangência de aplicação dos instrumentos da PNRH, tais como: enquadramento dos corpos d'água, outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos. Assim, padronização e automatização do traçado de bacias hidrográficas são fundamentais para a efetivação adequada da PNRH, evitando-se possíveis conflitos de utilização dos recursos hídricos.

Os sistemas de gestão em bacias hidrográficas devem ter suporte técnico científico baseado no conhecimento da estrutura ambiental e na compreensão dos processos e fatores que intervêm sobre a unidade de gerenciamento. Assim, a formulação de modelos conceituais permite coordenar a obtenção de informações e

organizar as ações de gestão ambiental, econômica e social da área atuada (CARVALHO, 2004).

Carvalho (2004) descreve que os modelos para bacias hidrográficas podem ser classificados conforme o QUADRO 1. O DFC e os parâmetros de levantamento morfométrico fluviais em bacias hidrográficas baseiam-se nos modelos “B” e “C”.

3.2 DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA (DFC)

O planejamento envolvendo bacias hidrográficas exige inventários e diagnósticos, tanto físicos quanto socioeconômicos e institucionais. Sem estas informações a tomada de decisões fica comprometida (FERRETTI, 2003).

Para a realização de inventários e diagnósticos é necessário a utilização de métodos que retratem o real estado ambiental da bacia hidrográfica. A partir da década de 60 modelos estrangeiros foram estudados na intenção de se buscar adaptações à situação brasileira.

No Paraná, o Consórcio Intermunicipal para Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (COPATI) possui como embasamento teórico trabalhos desenvolvidos pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT) e pelo Ministério do Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (MARNR), ambos da Venezuela. O Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica (DIBH), foi apresentado em agosto de 1990, em Londrina, no Curso de Manejo Conservacionista em Bacias Hidrográficas. O evento foi promovido pelo COPATI e pela Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SUREHMA) e patrocinado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). O método apresentado foi desenvolvido pelo CIDIAT, com sede na Venezuela, com o apoio de MARNR (BELTRAME, 1990).

O método para ser eficiente pressupõe o envolvimento de equipe multi e interdisciplinar, com a participação dos governos e/ou instituições ligadas ao meio ambiente (vertente institucional) e da população (vertente comunitária).

Questão	Modelo	O que medir?		Onde chegar?
Como a BH pode ser descrita?	Modelo de representação (A)	Estrutura ambiental	Solos, hidrografia, qualidade da água, biodiversidade, efeito de borda, grau de fragmentação, sistemas sócio-cultural e econômico, etc.	Representação: qual a melhor forma de representação? Qual a qualidade? Que elementos e atributos são constituintes da BH? Como podem ser representadas? Qual a percepção da população sobre a área da BH?
Como funciona a BH?	Modelo de processos (B)	Relações entre a estrutura e a função do sistema	Processos de erosão, sedimentação, troca de materiais, nutrientes, organismos	Processos: qual a compreensão efetiva da dinâmica da BH? Em que nível (regional, local)? Quão bem ela é percebida e usada? Como podem ser descritas estas relações? Existem modelos e análises sobre os processos? Quão complexo e preciso necessita ser o modelo (ou pode ser)? Isto demandará muitos esforços? Quais são os dados e informações que poderão subsidiá-lo? Estes existem ou necessitam ser coletados? (é uma área bastante conhecida para a compreensão dos processos que ali ocorrem?) Pode-se presumir que os processos ocorrendo são estáveis no tempo e no espaço, apesar de variações culturais? Como a BH é moldada pelas forças que a formam, como a economia, a política, a legislação, a cultura e a sociedade?
A BH está funcionando bem?	Modelo de avaliação (C)	Como avaliar se o sistema está funcionando bem?	Julgamentos métricos-estética (beleza), diversidade de habitats, saúde pública, satisfação do usuário, custos, fluxo de nutrientes, etc.	Avaliação: Como podem ser assinalados os diferentes valores para os diferentes elementos da BH? Quais são os critérios que podem ser determinados para avaliar se a BH ou seus elementos são ecologicamente importantes, ou saudáveis, apazíveis, economicamente caros, turisticamente importantes, potencialmente utilizáveis, etc.
Como a BH pode ser alterada? Que tipo de ações, onde e como?	Modelo de mudanças / variações (D)	Como a BH pode ser alterada se prevalecerem as tendências atuais de uso? Como a BH pode ser alterada caso seja implementado algum tipo de uso dos recursos naturais?	Determinação de modelos-sequência de uso do solo no tempo e sua projeção para o futuro (que percentual e onde deverão ser estabelecidos tais tipos de uso do solo) e modelo de projeção de algum tipo de uso da terra pré-concebido (onde deve ser implementado tal tipo de uso da terra de forma sustentável?)	O que poderia acontecer caso não sejam determinadas formas adequadas de intervenção? Como podem ser retiradas informações através do estudo do passado (mudanças de uso do solo ou sucessão de ecossistemas) e prognosticar tendências futuras? Como podem ser verificadas marcas da seleção e adaptação? Como podem ser determinados os usos adequados e inadequados para uma área? Está sendo realmente previsto o que deverá acontecer? Com que precisão? São necessárias mais informações? Quais? Sobre o quê? Como consegui-las?
Quais tipos de ações são previstas como causas de alterações da BH?	Modelo de impactos (E)	Uso do modelo de processos para avaliar problemas (impactos) relacionados à mudança de estrutura da BH, devido a certos usos da terra.	Quais processos serão impactados positiva ou negativamente? Onde? Como? Quando? Em que magnitude?	Como o impacto pode ser medido? Por qual variável? Como podem ser melhoradas as formas de medir? Existem informações suficientes para avaliar adequadamente o impacto? Quais são as alterações realmente importantes? Quais são suas causas e consequências?
Como a BH pode ser alterada (manejada)?	Modelo de decisões (F)	Com que base decidir entre as alternativas de alterar ou conservar diferentes parcelas do espaço de uma BH.	Existem alternativas entre os tipos de alteração (usos da terra)? Existem avaliações comparativas entre estas alternativas para que se possa tomar decisões? Existem áreas específicas que podem ser alteradas dentro da BH com um bom aproveitamento de recursos naturais e mínimo de impacto ambiental?	Existem alternativas? Como saber quais alternativas são as melhores? Como saber se entre elas foi selecionada a mais certa? O que isto indica? As alternativas consideram as gerações futuras e a sustentabilidade do sistema? Consideram a manutenção da biodiversidade e dos processos essenciais? Quais são os critérios para a tomada de decisão (custos, riscos, sustentabilidade ecológica, eficiência energética, saúde, equidade social)? A decisão do zoneamento é baseada no melhor conhecimento atual do sistema? Foi baseada em uma visão local, regional ou nacional? Podem ser determinadas diretrizes básicas para o uso dos recursos naturais na BH? Onde e como utilizar?

QUADRO 01. TIPOS DE MODELOS CONCEITUAIS ELABORADOS PARA AUXILIAR NO GERENCIAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (BH) (ADAPTADO DE CARVALHO, 2004)

O Diagnóstico Integral da Bacia Hidrográfica (DIBH) sintetiza o estado da degradação e conservação da bacia, sendo composto por sete diagnósticos que se inter-relacionam:

- 1º) Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC), que determinará o potencial de degradação ambiental a partir de fatores naturais;
- 2º) Diagnóstico Socioeconômico (DSE), que fornecerá os fatores de degradação e poluição ambiental provocados pelo homem. Abrange os produtores, por meio de amostragem – questionários e entrevistas, tabulações, análise crítica, recomendações e conclusões e, também, as sedes municipais da bacia;
- 3º) Diagnóstico Recurso Solo (DS), que classifica e interpreta o uso, bem como os conflitos de uso, fornecendo as categorias de classificação: sobre-uso (áreas que ultrapassam sua capacidade com suscetibilidade de degradação) e sub-uso (áreas com uso abaixo de sua capacidade produtiva). Gera um levantamento da capacidade de uso do solo e um do uso atual, determinando os conflitos de uso;
- 4º) Diagnóstico do Recurso Água (DA), que tem como objetivos avaliar quantitativamente as disponibilidades, demandas atual e futura para os diferentes usos. A partir de dados hidroclimáticos e sedimentográficos, verifica-se a disponibilidade superficial e, a partir das informações hidrogeológicas, a disponibilidade subterrânea. Fornece informações referente a demandas (urbana, industrial, rural, irrigação), enchentes e infra-estrutura hidráulica;
- 5º) Diagnóstico do Recurso Vegetação (DV), fornecendo um banco de dados – inventários/diagnósticos da vegetação: espécies predominantes do uso social (alimentação, medicamentos, construção civil, etc.); espécies econômicas (matéria-prima para uso industrial); espécies energéticas; espécies conservacionistas e espécies ecológicas (pré-requisitos para a sobrevivência de outras espécies);
- 6º) Diagnóstico do Recurso Fauna (DF), visa inventariar a fauna da bacia;
- 7º) Diagnóstico da Contaminação Ambiental (DCA), que identificará as situações críticas de: poluição hídrica (natural, agropastoril, urbana, industrial), poluição atmosférica, poluição sonora e por resíduos sólidos (manejo de lixo, manejo de lixo tóxico e manejo do lixo rural).

O DFC em bacias hidrográficas tem como meta determinar o potencial de degradação ambiental a partir de fatores naturais, como subsídio ao planejamento e manejo dos recursos naturais. Parâmetros potenciais devem ser indicados, que

serão expressos em forma numérica. A suscetibilidade de degradação é determinada e possibilita a análise qualitativa quanto à preservação dos recursos. Os parâmetros adotados produzem capacidade potencial intrínseca de contribuírem para a degradação dos recursos naturais renováveis de uma bacia hidrográfica, ou refletirem essa degradação (CARVALHO, 2004).

Consideram-se quatro grandes fatores potenciais naturais e, a partir deles, definem-se sete parâmetros componentes do DFC:

i - Vegetação: é importante na manutenção dos recursos, pois, além da participação ativa no ciclo da água, protege os solos do impacto da chuva, auxilia na dinâmica de infiltração, etc. Considerada sob dois aspectos:

- * - grau de semelhança entre a cobertura vegetal atual e a original dos setores da bacia - parâmetro CO;
- * - grau de proteção da cobertura vegetal fornecido ao solo - parâmetro CA.

De acordo com Chueh; Santos (2005) que aplicaram o método no levantamento ambiental da bacia do rio Pequeno, os resultados obtidos no parâmetro são interpretações hipotéticas baseadas em referências bibliográficas da formação da cobertura vegetal original que teoricamente existia, tendo sua gênese nas condições geológicas, do solo, relevo e clima, a partir do quaternário recente. A respeito da elaboração do mapa de cobertura vegetal, observa-se que se trata de uma abstração teórica, pois contempla as associações vegetais que ocorreriam no espaço geográfico caso não houvesse acontecido intervenções antrópicas significativas. As associações florísticas naturais existentes até meados do século XX, desenvolveram-se a partir do Pleistoceno. A partir de estudos geológicos dos depósitos do Quaternário antigo e dos perfis de solos, acredita-se que a mata se alastrou sobre os solos semiáridos de estepes. Partiu dos vales dos rios, de suas cabeceiras e dos declives escarpados (MAACK, 1981).

ii - Clima: age direta ou indiretamente sobre os recursos, tendo influência direta na degradação da bacia, quer seja pelo efeito erosivo das gotas da chuva, intemperização do substrato rochoso, quer seja pela dinâmica do ciclo da água. É considerado sob dois aspectos:

- * - erosividade da chuva - parâmetro E;
- * - balanço hídrico dos setores da bacia - parâmetro BH.

iii - Características Geológicas e Pedológicas: a estrutura geológica configura o relevo e a rede de drenagem, pois o comportamento do substrato diante do intemperismo reflete o potencial de degradação dos recursos. A proteção do solo e a declividade do terreno irão resultar em maior ou menor perda e/ou capacidade de reter água. As características dos solos influenciam na infiltração e escoamento das águas das chuvas e contribui para diminuir ou acelerar o processo erosivo. São consideradas sob dois aspectos:

- * - susceptibilidade à erosão, associada à declividade - parâmetro PE;
- * - densidade de drenagem - parâmetro DD.

iv - Características do Relevo: declividade média - parâmetro DM, onde observa-se a geomorfologia, curva hipsométrica, altura média, coeficiente de massividade e orográfico.

O DFC é necessário para embasar todos os demais diagnósticos. Mesmo genérico, é abrangente e prático para obter valores objetivos que avaliem o estado físico conservacionista de uma bacia hidrográfica.

Cada parâmetro é definido por um índice de acordo com classificações previamente estabelecidas. A somatória dos índices mínimos de cada parâmetro, estabelece o padrão de melhores condições da bacia hidrográfica. A somatória dos índices máximos de cada parâmetro estabelece o padrão de piores condições da bacia hidrográfica. Portanto, quanto maiores os valores dos índices e, conseqüentemente, dos valores finais, maior o potencial de suscetibilidade de degradação dos recursos da bacia hidrográfica (BELTRAME, 1990):

$$E(f) = CAa + COb + DMc + Ed + PEe + DDf + BHg$$

Sendo:

$E(f)$ – estado físico conservacionista do setor, sendo (f) a função descritiva que é proporcional aos parâmetros;

CAa – proteção da cobertura vegetal atual ao solo, sendo “a” o índice específico;

COb – grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e a atual, sendo “b” o índice específico;

DMc – declividade média, em que “c” é o índice específico;

Ed – erosividade da pluviosidade, em que “d” é o índice específico;

PEe – potencial erosivo do solo, em que “e” é o índice específico;

DDf – densidade de drenagem, em que “f” é o índice específico;

BHg – balanço hídrico, em que “*g*” é o índice específico.

Segundo Beltrame (1990), a Fundação Universitária da Região de Blumenau e a Universidade Federal de Santa Catarina, desenvolveram estudos para adaptar ao método do CIDIAT e MARNR, às condições do vale do Rio Itajaí Açu. Em 1988, aconteceu o II Seminário do Projeto Itajaí, em que foram apresentados os estudos preliminares para adaptação da metodologia em sua íntegra.

Qualquer método quer seja desenvolvido no Brasil ou em outros países, deve ser reavaliado e verificado quanto a viabilidade para sua aplicação em outras bacias hidrográfica, uma vez que as características peculiares de sistemas abertos serão diferentes.

Ferretti (1998) identificou o estado ambiental da bacia do rio Marrecas (PR), após aplicação do DFC. A autora concluiu que: o estado ambiental da bacia é preocupante; o DFC constitui subsídio para programas de extensão rural e/ou projetos que visam a recuperação ambiental da área estudada; o método fornece indicativos para a racionalização do uso e manejo dos recursos, e; é viável de ser utilizado em outras bacias hidrográficas.

Pereira (2001) aplicou o DFC com o objetivo de adequar a unidade de conservação Parque Municipal da Lagoa do Peri ao método conservacionista para bacias hidrográficas. O autor concluiu que o DFC demonstrou ser adequado para análise e avaliação dos elementos componentes daquela paisagem e mostrou-se útil e pouco dispendioso financeiramente. Tornou-se assim, mediante alguns ajustes, recomendável sua utilização em outras unidades de conservação com características físico-bióticas ou com problemas ambientais semelhantes, no intuito de se estabelecerem parâmetros para monitoramento das unidades.

Chueh; Santos (2005) realizaram adaptações no método a fim de aplicá-lo na bacia do rio Pequeno, Região Metropolitana de Curitiba – PR, com o objetivo principal de quantificar a degradação dos recursos naturais. A principal conclusão foi que a utilização do DFC se mostrou eficiente na avaliação da degradação física da bacia hidrográfica em estudo. No entanto, não se tratou de uma simples aplicação metodológica pronta e acabada. O aperfeiçoamento e o incremento de soluções na obtenção dos índices dos parâmetros da fórmula proposta é consequência de exercícios metodológicos. Os autores incentivam a continuidade dos experimentos

acadêmicos e utilização do DFC como suporte ao planejamento de bacias hidrográficas.

Carvalho (2004) diagnosticou aspectos físicos, bióticos e de uso do solo na área da bacia hidrográfica do rio Quebra-Perna, como apoio na elaboração de diretrizes e estratégias de ação a processos de gestão. Para atingir o objetivo, aplicou-se o DFC e concluiu que o método mostrou-se eficiente na avaliação da degradação física da bacia analisada. O aperfeiçoamento e o incremento de soluções para a obtenção de determinados índices dos parâmetros se constituiu num exercício metodológico e intelectual.

Neves (2012) analisou a degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas-RS, com a aplicação do DFC. O método mostrou-se eficiente para a análise da degradação ambiental na bacia. Não foi apenas uma questão de simples aplicação mas o acréscimo e aperfeiçoamento de soluções para a aquisição dos índices dos parâmetros. Os dados obtidos na pesquisa poderão ser empregados para o planejamento ambiental, servindo de subsídio para o uso sustentável do solo na bacia estudada.

3.3 INFLUÊNCIA DA MORFOMETRIA FLUVIAL SOBRE VAZÕES CARACTERÍSTICAS

A análise morfométrica é o estudo quantitativo das formas do relevo, que possibilita inferências sobre as características relacionadas à pedologia, rede hidrográfica e descreve a dinâmica das drenagens superficiais. Com isso, podem-se estabelecer níveis de fragilidades relacionados às características ambientais da área e sua susceptibilidade à degradação ambiental (ZANATA, 2013).

De acordo com Torres *et al.* (2009), estudos sobre a aplicabilidade dos índices e características morfométricas, tanto na abordagem linear como adimensional, tem trazido informações relevantes na relação solo-superfície. Os estudos relacionam pedologia, relevo e rede hidrográfica, com os consequentes processos ambientais. Descrevem a dinâmica da drenagem superficial e as formas topográficas analisando diversas questões geomorfológicas.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos principais procedimentos executados para elucidar questões sobre o entendimento das

dinâmicas local e regional, apoiando o gerenciamento dos recursos hídricos (MAGESH *et al.*, 2010; GUEDES; SILVA, 2012).

Soares; Souza (2013) aplicaram a análise morfométrica fluvial em quatro etapas. A primeira tratou da ordenação ou hierarquização da rede de drenagem. Na segunda etapa, a análise linear da rede de drenagem que compreendeu as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento. A análise areal da bacia hidrográfica foi a terceira etapa, englobando vários índices que utilizam medições planimétricas, além das lineares. E, por fim (quarta etapa), a análise hipsométrica, que compreendeu a análise da distribuição altimétrica da bacia.

Estudos morfométricos têm sua base a partir da análise de vazões que podem ser expressas como uma função geral da geomorfologia de uma bacia hidrográfica. A afirmação é ratificada nos estudos de Rocha *et al.* (2014) e Ifabiyi (2011), ao relatarem que as características geomorfológicas de uma bacia desempenham papel-chave no controle hidrológico.

3.4 CICLO HIDROLÓGICO

A Hidrologia, ciência voltada para o estudo dos processos hídricos que ocorrem na bacia hidrográfica, baseia-se na observação dos processos fisiográficos e climatológicos envolvidos (KIRCHNER, 2006).

Os estudos relacionados à rede hidrográfica sempre foram muito importantes para Geomorfologia, pois os cursos d'água constituem um dos processos mais ativos na formação da paisagem terrestre (GARTSMAN, 2013).

A água existente em praticamente todo o planeta (atmosfera, superfície dos continentes, mares, oceanos e subsolo), encontra-se nos seus diferentes estados físicos, em permanente circulação, desenvolvendo um processo denominado ciclo hidrológico (SANTOS *et al.*, 2001).

Em síntese, o ciclo hidrológico envolve cinco processos: evapotranspiração; evaporação; precipitação; escoamento superficial; e, escoamento subterrâneo (HELD; SODEN, 2006).

De acordo com Huntington (2006) o processo hidrológico parte da radiação solar e do metabolismo dos seres vivos (evapotranspiração). É a fonte de energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). Somando ao processo a força da gravidade, a água é condensada nas nuvens e se precipita (precipitação). Uma vez na superfície terrestre a água escoar aos córregos e rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltra nos solos e nas rochas (escoamento subterrâneo).

Nos estudos de disponibilidade de recursos hídricos, o balanço hídrico deve ser elaborado a intervalos de tempo longos (anuais, bianuais), considerando-se os processos sob a forma de totais mensais. Processos que se desenvolvem a intervalos curtos, a exemplo da infiltração, não têm interesse direto no balanço. Interessam os processos dominantes como precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e armazenamentos superficial e subterrâneo analisados sob a forma de totais (TUCCI, 2001).

No balanço hídrico com intervalos maiores de tempo (como um ano ou mais) a variação de armazenamento pode ser desprezada na maior parte das bacias. A quantidade de precipitação pode ser determinada somando-se a evapotranspiração e vazão (TUCCI, 2001).

Escrevendo-se a equação do balanço hídrico (BH) para seções representadas pela superfície do solo da bacia hidrográfica, sistema em que a única entrada de água é a precipitação, em certo intervalo de tempo, tem-se (RAMOS *et al.* 1989) (EQUAÇÃO 1):

$$P = S + E_s + T_s + \Delta V_s + I \quad (1)$$

Sendo:

P – precipitação; S – escoamento superficial; E – evaporação; T – transpiração; ΔV – variação de volume armazenado; I – infiltração.

Caso a seção selecionada seja imediatamente abaixo da superfície do solo, a equação do balanço hídrico (BH) se torna (EQUAÇÃO 2):

$$I = B + E_B + T_B + \Delta V_B \quad (2)$$

Sendo:

I – infiltração; B – escoamento subterrâneo; E – evaporação; T – transpiração; ΔV – variação de volume armazenado.

A partir das equações (1) e (2), tem-se a equação geral do balanço hídrico (BH) para uma bacia hidrográfica (EQUAÇÃO 3):

$$P = S + B + (E_s + E_B) + (T_s + T_B) + \Delta V_s + \Delta V_B \quad (3)$$

E, abandonando-se os subscritos (EQUAÇÃO 4):

$$P = S + B + E + T + \Delta V \quad (4)$$

Fazendo-se (EQUAÇÃO 5 e 6):

$$S + B = D \quad (5)$$

$$E + T = EVT \quad (6)$$

Desconsiderando a ΔV , tem-se a forma simplificada da equação do balanço hídrico (BH) (EQUAÇÃO 7):

$$P = D + EVT \quad (7)$$

Sendo:

D – deflúvio total;

EVT – evapotranspiração.

O BH é um dos parâmetros que compõe o DFC e o deflúvio total corresponde à vazão média de longo período.

3.5 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Métodos de regionalização hidrológica são ferramentas utilizadas para transferir informações hidrológicas de locais com dados para locais sem dados observados. Tais métodos são frequentemente empregados em estudos preliminares e mesmo nas etapas de dimensionamento de obras sem que utilizam os benefícios de recursos hídricos. Seu uso é praticamente difundido em todas as regiões do mundo, devido à instalação e manutenção de redes de estações de monitoramento de dados hidrológicos com alta densidade é dispendiosa. O Brasil carece de sistemas eficientes para monitoramento, processamento e análise de dados hidrológicos. A grande maioria das estações fluviométricas estão instaladas

em bacias de grande porte com manutenção financiada por empresas do setor elétrico (KAVISKI, 1992).

Simmers (1984) apresenta uma sistemática orientada para identificar as técnicas que são mais apropriadas para um problema de regionalização hidrológica, sendo fundamental refletir em dois pontos: i) o tipo de problema a ser resolvido; e, ii) a escala em que a solução é requerida. Na regionalização hidrológica não existe um procedimento simples, robusto e universal. Na maioria dos casos o processo deve ser integrado multidisciplinarmente com sistemática envolvendo a combinação de técnicas de mapeamento, técnicas estatísticas entre outras.

De acordo com Kaviski (1992), as técnicas usualmente empregadas na regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos são classificadas em quatro grupos:

- 1º) Técnicas empíricas – estimam vazões máximas de cheias com chuvas intensas, características fisiográficas da bacia hidrográfica e coeficiente de escoamento. Devem ser usadas quando não houverem meios para se utilizar outras técnicas, ou seja, nos casos em que não existam dados observados;
- 2º) Técnicas de extensão de séries – estendem séries de eventos independentes com série de eventos hidrológicos. Devem ser usadas quando as correlações entre as estações são altas. O máximo de informações é extraído quando as informações são totalmente correlacionadas;
- 3º) Técnicas de regressão – relacionam parâmetros ou eventos hidrológicos em função de características fisiográficas e climatológicas das regiões de influência das estações. Os dados de entrada são parâmetros ou eventos hidrológicos e parâmetros representativos das características fisiográficas e climatológicas das regiões de influência das estações;
- 4º) Técnicas de mapeamento regional – definem mapas de isolinhas, poligonais ou de regiões homogêneas, para eventos ou parâmetros hidrológicos, em função de características fisiográficas e climatológicas das regiões de influência das estações com séries hidrológicas; parâmetros de características fisiográficas e climatológicas das regiões de influência das estações. A utilização de mapas de isolinhas e poligonais deve-se restringir aos casos em que não for possível a definição de modelos de regressão. Alguns casos em que isso acontece são: i) a correlação é alta entre as estações e sua estrutura não pode ser identificada; e, ii) não

encontram-se disponíveis informações sobre características fisiográficas e climatológicas. O uso de técnicas de multi regionalização é conveniente quando é possível identificar grupos de estações que apresentam similaridade hidrológica, de forma que dentro de cada grupo possam ser definidos modelos de regressão ou técnicas de interpolação.

As técnicas incluídas em cada um dos grupos, de modo geral, são competitivas, sendo mutuamente excludentes, mas não em todos os casos. Por exemplo, em um mesmo estudo de regionalização pode ser desenvolvido um método de regionalização que utiliza três técnicas de mapeamento regional, podendo ser: i) análise de agrupamentos; ii) análise discriminante; e, iii) interpolação ponderada. O mesmo estudo poderia ser desenvolvido por um método que utilizasse as técnicas: i) análise fatorial; ii) análise discriminante; e, iii) regressão múltipla. Comparando-se os dois métodos verifica-se que a técnica de interpolação ponderada, classificada no grupo IV, é competitiva com a técnica de análise de regressão múltipla classificada no grupo III.

3.6 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A Estatística Multivariada dispõe de métodos e técnicas de compreensão das relações existentes entre diversas variáveis. Permite considerar simultaneamente a variabilidade existentes nas diferentes propriedades envolvidas. As respostas para os fenômenos são mensuradas e contempladas com todas as variáveis de forma integrada (FERREIRA, 2008). Historicamente já foi aplicada em trabalho com psicologia, ciências sociais e biológicas. Atualmente é também aplicada na educação, geologia, química, física, engenharia, meteorologia, entre outros (MOITA NETO, 2008).

Destacam-se como pioneiros do método: Bartlett (1939); Fisher (1936); Hotelling (1931); Rao (1934); Roy (1953).

A aplicação da análise estatística multivariada na validação e verificação da eficiência de procedimentos metodológicos pode ser verificada nos estudos de

Sampaio; Guimarães (2009), Machnicki *et al.* (2010), Madeira Junior *et al.* (2011); Palmuti; Picchiali (2013), Madeira Junior *et al.* (2013).

Dentre as técnicas de estatística multivariada, a Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Correlação Canônica (ACC) se destacam.

3.6.1 Análise das componentes principais (ACP)

A ACP tem por objetivo principal a redução da dimensão dos dados descritivos de um problema mantendo o grau de significância de toda a amostra. É aplicada para reduzir o número de variáveis e fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. Fornece as ferramentas adequadas para identificar as variáveis mais importantes no espaço das componentes principais (MINUCCI, 2014).

Um dos principais usos da ACP ocorre quando as variáveis são originárias de processos em que diversas características devem ser observadas ao mesmo tempo. A técnica foi estudada por autores como Morrison (1976), Jackson (1980, 1981) e Johnson; Wichern (1992).

Matematicamente, a ACP pode ser entendida como uma transformação linear ortogonal que substitui os dados do conjunto de variáveis originais por um novo conjunto de variáveis que, mantém, ao máximo, a variabilidade do conjunto (MINUCCI, 2014).

Dadas as múltiplas observações de um vetor \mathbf{x} ($K \times 1$), a ACP encontra ($M \times 1$) vetores \mathbf{u} , cujos elementos são combinações lineares dos elementos \mathbf{x} 's, que contém o máximo de informação dos dados originais de \mathbf{x} . Tal análise é mais efetiva quando o número de variáveis a ser reduzida à amostra é consideravelmente menor do que a quantidade de dados originais (MINUCCI, 2014).

As novas variáveis ou componentes principais \mathbf{u}_m de \mathbf{u} são definidos pelos autovetores da matriz covariância (ou correlação) de \mathbf{x} . Particularmente, o m -ésimo componente principal \mathbf{u}_m é obtido como a projeção dos dados do vetor \mathbf{x}' no m -ésimo autovetor (EQUAÇÃO 8):

$$U_m = e_m^T x' = \sum_{k=1}^k e_{km} x'_k \quad \text{onde} \quad m=1, \dots, M \quad (8)$$

Nota-se que cada um dos M autovetores corresponde à uma base para cada uma das K variáveis, \mathbf{x}_K . Os autovetores definem um novo sistema de coordenadas para visualização dos dados, o qual é orientado de modo que cada um deles seja direcionado para o máximo de variabilidade dos dados, mantendo sempre a ortogonalidade.

A principal propriedade dos componentes principais é que eles são não correlacionados. A matriz de correlação das novas variáveis \mathbf{u}_m é igual à matriz identidade \mathbf{I} . Além disso, a variância individual explicada por cada componente principal equivale ao valor do autovalor correspondente àquele componente (EQUAÇÃO 9).

$$VAR(U_m) = \mathbf{e}_m' \Sigma \mathbf{e}_m = \lambda_m \quad (9)$$

Sendo Σ a matriz de covariância associada com o vetor aleatório \mathbf{u}_m .

Conclui-se, portanto, que a proporção da variância total devida a m-ésima componente principal, de acordo com a EQUAÇÃO 10, é:

$$\% VAR \cdot EXP(U_m) = \frac{\lambda_m}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_K} \times 100 \quad (10)$$

Não existe definida uma regra final que determine o número de componentes que devem ser selecionados para a explicação de um fenômeno. Dentre os critérios geralmente utilizados merece destaque aquele que estabelece a permanência das n primeiras componentes ($n < m$), de acordo com a variação cumulativa que elas explicam. Uma variação cumulativa com um bom grau de explicação é superior a 75%, porém, fica a cargo do usuário julgar a necessidade de variação a ser explicada.

Existem duas interpretações que podem ser feitas ao estudar os resultados da ACP. Uma delas é analisar as variáveis obtidas e trabalhar com os componentes principais no novo sistema de coordenadas criado. Esse método faz com que a nova amostra não tenha mais significado físico, mas sim matemático. O outro método consiste em avaliar quais são os indivíduos que, de fato, têm influência sobre o problema analisado. Para isso, basta ordenar os autovalores e autovetores

correspondentes em ordem decrescente de significância. A partir de então, busca-se nos autovetores a linha que detém o maior valor absoluto dentre todas as linhas do mesmo componente principal. A linha está relacionada à variável analisada e, portanto, a variável explica melhor o fenômeno.

3.6.2 Análise de correlação canônica (ACC)

O objetivo da ACC é relacionar simultaneamente múltiplas variáveis dependentes e independentes. A correlação canônica mede a força da associação entre os dois conjuntos de variáveis dependentes e independentes métricas para maximizar a correlação entre os dois conjuntos. A força do relacionamento entre os pares de variáveis é refletida principalmente com os coeficientes canônicos de uma primeira função. Quando elevados ao quadrado, tais coeficientes representam a quantidade de variância em um composto linear da função canônica atribuída a outro composto da mesma função.

Conforme procedimento detalhado em Bogo *et al.* (2010), tem-se interesse em medir a associação entre dois grupos de variáveis. O primeiro grupo de p variáveis é representado pelo vetor aleatório $X(p \times 1)$. O segundo grupo de q variáveis é representado pelo vetor aleatório $Y(q \times 1)$, considerando $p \leq q$. Para os vetores aleatórios X e Y , tem-se a EQUAÇÃO 11:

$$\begin{aligned} E(X) &= \mu_1 \text{Cov}(X) = \Sigma_{11} \\ E(Y) &= \mu_2 \text{Cov}(Y) = \Sigma_{22} \\ \text{Cov}(X, Y) &= \Sigma_{12} = \Sigma'_{21} \end{aligned} \quad (11)$$

Considerando X e Y conjuntamente, encontra-se o vetor aleatório (EQUAÇÃO 12):

$$\underset{((p+q) \times 1)}{\underline{X}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_q \end{bmatrix} \quad (12)$$

com o vetor de médias tem-se a EQUAÇÃO 13:

$$\underset{((p+q) \times 1)}{\underline{\mu}} = E[X] = \begin{bmatrix} E(X) \\ E(Y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu^{(1)} \\ \mu^{(2)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

e matriz de covariância de acordo com a EQUAÇÃO 14:

$$\begin{aligned} \underset{(p+q) \times (p+q)}{\Sigma} &= E(X - \mu)(X - \mu)' = \\ &= \begin{bmatrix} E(X - \mu^{(1)})(X - \mu^{(1)})' & E(X - \mu^{(1)})(Y - \mu^{(2)})' \\ E(Y - \mu^{(2)})(X - \mu^{(1)})' & E(Y - \mu^{(2)})(Y - \mu^{(2)})' \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (14)$$

Assim, as covariâncias entre os pares de variáveis dos diferentes conjuntos – uma variável de X e outra de Y – estão contidas em Σ_{12} ou, equivalentemente, em Σ_{21} . Os pq elementos medem a associação entre os dois conjuntos de variáveis. Quando p e q são relativamente grandes, a interpretação dos elementos de Σ_{12} torna-se impraticável. Em consequência disso, as combinações lineares são introduzidas para tornar possível a interpretação desejada (EQUAÇÃO 15):

$$\begin{aligned} U &= a' X \\ V &= b' Y \end{aligned} \quad (15)$$

Então se tem a EQUAÇÃO 16:

$$Corr(U, V) = \frac{Cov(U, V)}{\sqrt{V(U)V(V)}} = \frac{E[(U - \bar{U})(V - \bar{V})]}{\sqrt{V(U)V(V)}} \quad (16)$$

E, de acordo com a EQUAÇÃO 17:

$$\begin{aligned} Var(U) &= a' Cov(X) a = a' \Sigma_{11} a \\ Var(V) &= b' Cov(Y) b = b' \Sigma_{22} b \\ Cov(U, V) &= a' Cov(X, Y) b = a' \Sigma_{12} b \end{aligned} \quad (17)$$

Portanto, devem-se encontrar os vetores coeficientes a e b tais que, conforme EQUAÇÃO 18:

$$Corr(U, V) = \frac{a' \Sigma_{11} b}{\sqrt{a' \Sigma_{11} a} \sqrt{b' \Sigma_{22} b}} \quad (18)$$

seja a maior possível.

O primeiro par de variáveis canônicas são as combinações lineares U_1 e V_1 , com variância unitária e que maximiza a correlação disposta na EQUAÇÃO 18.

O segundo par de variáveis canônicas são as combinações lineares U_2 e V_2 , com variância unitária, e que maximiza a correlação 9 dentre aquelas que não são correlacionadas com o primeiro par de variáveis canônicas.

Na k -ésima etapa, o k -ésima par de variáveis de canônicas são as combinações lineares U_k e V_k , com variância unitária, e que maximiza a correlação 7 entre aquelas que não são correlacionadas com os $k-1$ primeiros pares de variáveis canônicas definidas. A correlação entre o k -ésima par de variáveis canônicas é denominada por k -ésima correlação canônica.

Na literatura existente, foram encontrados poucos trabalhos referentes a processos em bacias hidrográficas que utilizam a análise de correlação canônica. Entretanto, pode-se destacar o uso da técnica em pesquisas hidrológicas, encontradas em Torranim (1972) e Ebisemiju (1988). A utilização da técnica na área da química, administração e engenharia, podem ser encontrados em Trugilho *et al.* (2003), Costa (2008) e Bogo *et al.* (2010), respectivamente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL UTILIZADO NO LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO

Para realizar o levantamento das principais características do meio físico da área de estudo, a fim de aplicar e avaliar parâmetros fisiográficos e de conservação representativos em bacias hidrográficas, foi definida a escala cartográfica regional 1:250.000. O levantamento bibliográfico existente atende a esta demanda, bem como as imagens com resoluções 90 x 90 m (radar SRTM) e as imagens LANDSAT 30 x 30 m.

4.2 DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA (DFC)

4.2.1 Setorização da área de estudo

A quantidade de bacias foi definida para evitar erros estatísticos decorridos da utilização de baixa quantidade de pontos amostrais. A escala de análise regional foi definida na pesquisa, tendo em vista os objetivos propostos, principalmente ao abranger a quantidade de postos de monitoramento de vazão satisfatória, principal critério para a setorização.

A bacia do rio Ivaí foi setorizada em 14 (quatorze) sub-bacias, constituindo 14 pontos amostrais (FIGURA 12) e as informações por compartimento (TABELA 1). A sub-bacia 14 possui exutório coincidente com o último posto de monitoramento de vazão da área de estudo. A rede hidrográfica, altitudes e declividades foram outros critérios que serviram para a setorização. As sub-bacias que não recebem contribuição de áreas e aportes hidrográficos de sub-bacias a montante, além da 1 são 5, 7, 10 e 13. As informações físicas que serviram de base para a delimitação de cada sub-bacia estão descritas na TABELA 2.

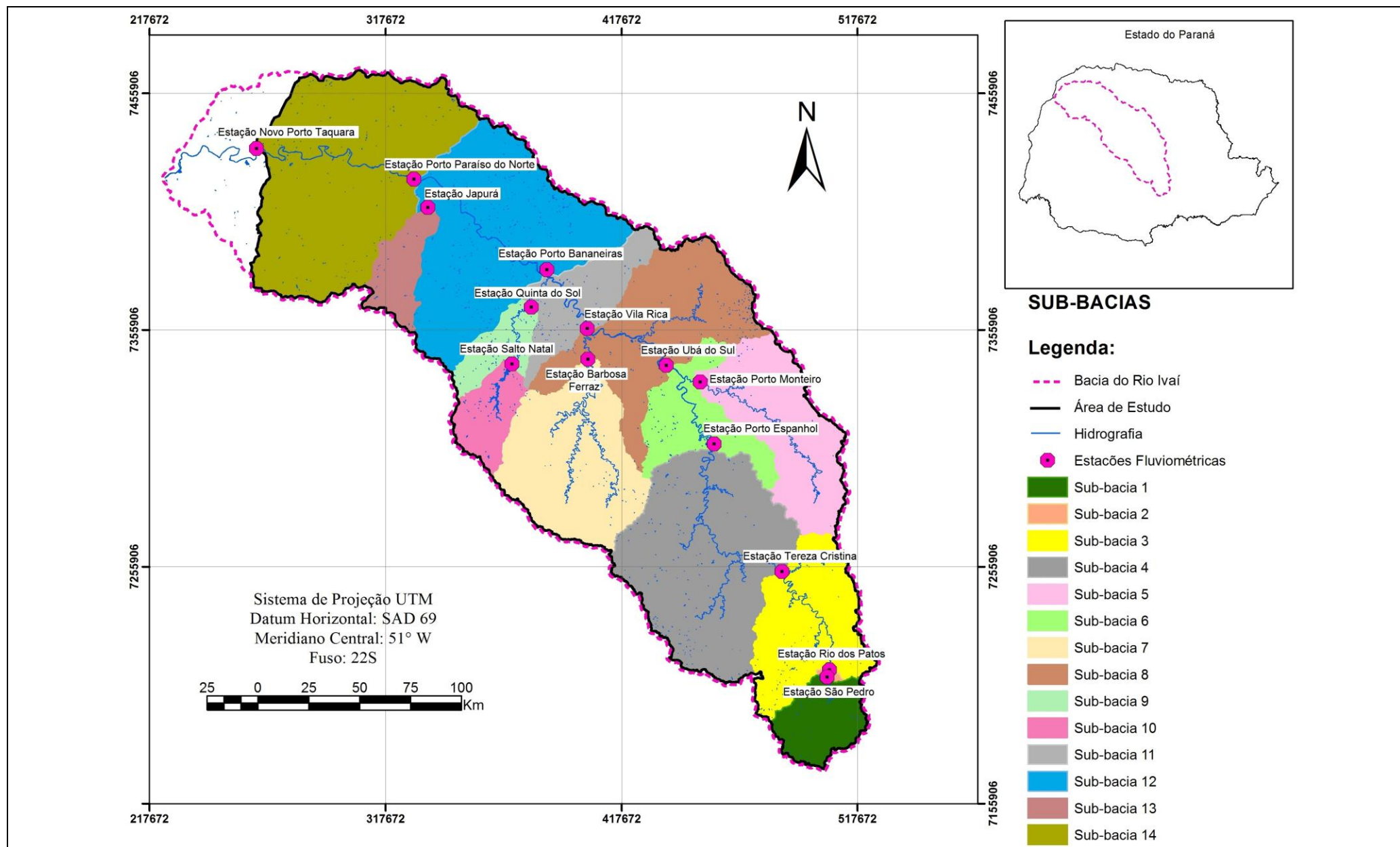


FIGURA 12 – DIVISÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ - PR EM 14 SUB-BACIAS.

TABELA 1. INFORMAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ POR COMPARTIMENTO.

Sub-bacia	Código	Estação	Rio	Município	Área (km ²)	Início	Latitude	Longitude
1	64619950	SÃO PEDRO	Rio dos Patos	Prudentópolis	1054.1	11/01/1983	25° 13' 58"	50° 57' 09"
2	64620000	RIO DOS PATOS	Rio dos Patos	Prudentópolis	1089.6	20/05/1930	25° 12' 19"	50° 56' 34"
3	64625000	TEREZA CRISTINA	Rio Ivaí	Cândido de Abreu	3566.5	08/06/1956	24° 49' 46"	51° 08' 34"
4	64645000	PORTO ESPANHOL	Rio Ivaí	Rio Branco do Ivaí	8545.2	08/12/1965	24° 20' 31"	51° 25' 28"
5	64652000	PORTO MONTEIRO	Rio Alonzo	Grandes Rios	2611.9	01/10/1974	24° 06' 21"	51° 28' 56"
6	64655000	UBÁ DO SUL	Rio Ivaí	Lidianópolis	12703.8	15/04/1967	24° 02' 30"	51° 37' 22"
7	64659000	BARBOSA FERRAZ	Rio Corumbataí	Barbosa Ferraz	3277.1	08/12/1974	24° 01' 00"	51° 57' 00"
8	64660500	VILA RICA	Rio Ivaí	Fênix	19436.1	14/08/1985	23° 54' 00"	51° 57' 04"
9	64673000	QUINTA DO SOL	Rio Mourão	Quinta do Sol	1553.3	08/08/1974	23° 49' 00"	52° 10' 59"
10	64671000	SALTO NATAL	Rio Mourão	Campo Mourão	854.2	18/02/1974	24° 01' 59"	52° 16' 00"
11	64675002	PORTO BANANEIRAS	Rio Ivaí	Engenheiro Beltrão	22498.5	02/01/1974	23° 40' 29"	52° 07' 02"
12	64685000	PORTO PARAISO DO NORTE	Rio Ivaí	Rondon	28403.1	23/05/1952	23° 19' 28"	52° 39' 55"
13	64682000	JAPURÁ	Rio dos Índios	Japurá	802.5	08/02/1976	23° 25' 59"	52° 36' 30"
14	64693000	NOVO PORTO TAQUARA	Rio Ivaí	Douradina	34419.3	07/12/1974	23° 11' 58"	53° 18' 56"

Fonte: ÁGUASPARANÁ (2012)

TABELA 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PARA SETORIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ.

Sub-bacia	Características físicas para setorização
1	Compreende as principais nascentes do rio Ivaí, composto pelos rios São João e Dos Patos, com altitudes variando entre 750 m e 1293 m. O substrato dominante são argilitos, folhelhos e siltitos. São ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros da formação Teresina e Rio do Rasto, respectivamente. O padrão de drenagem retangular e subpararelo obedecem às linhas de falhas, principalmente no sentido NE-SW.
2	Compreende basicamente todas as informações da sub-bacia 1, com altitudes variando entre 742 m e 1293 m. Abrange a área incrementada da sub-bacia 1.
3	Compreende altitudes que variam de 493 m e 1333 m, tendo como substrato dominante os argilitos, folhelhos da formação Teresina. Além do padrão de drenagem retangular e subpararelo observou-se em alguns pontos o padrão dendrítico. Abrange a área incrementada das sub-bacias 1 e 2.
4	Compreende altitudes que variam entre 428 m e 1333 m. Os substratos dominantes são argilitos, folhelhos da formação Teresina, arenitos da formação Botucatu e Rio do Rasto, lavas ácidas e intermediárias da formação Nova Prata. Além do padrão de drenagem retangular e subpararelo observou-se em alguns pontos o padrão dendrítico e radial. Abrange a área incrementada das sub-bacias 1, 2 e 3.
5	Compreende altitudes variando entre 403 m e 1.284 m. O substrato dominante alterna argilitos, folhelhos e siltitos de cor cinza médio esverdeada, frequentes níveis de sílex e calcários esbranquiçados da formação Teresina. Os siltitos e argilitos intercalados de arenitos finos, cores esverdeadas, avermelhadas e arroxeadas possuem níveis ocasionais de calcário e sílex, laminações paralelas, por vezes cruzadas da formação Rio do Rasto. O padrão de drenagem é retangular e subpararelo, com vertentes curtas.
6	Compreende altitudes que variam entre 362 m e 1.333 m, englobando todas as sub-bacias anteriores com suas informações. Abrange a área incrementada de todas as sub-bacias anteriores.
7	Compreende altitudes que variam entre 323 m e 1.154 m, tendo como substrato dominante os derrames de basalto da Formação Serra Geral, além de lavas ácidas e intermediárias, da Formação Serra Geral - Membro Nova Prata. Entre dois derrames consecutivos geralmente há intercalações de materiais sedimentares - arenitos e siltitos - ditos intratrapianos. São representados por basalto amigdaloidal de base, basalto compacto, basalto amigdaloidal, basalto vesicular e brecha basáltica e/ou sedimentar. O padrão de drenagem que se destaca é o dendrítico com vertentes curtas.
8	Compreende altitudes que variam entre 307 m e 1.333 m, englobando todas as sub-bacias anteriores com suas informações, com significativo aumento da Formação Serra Geral do grupo São Bento. Abrange a área incrementada de todas as sub-bacias anteriores.
9	Compreendem altitudes que variam entre 311 m e 849 m, tendo como substrato dominante os derrames de basalto da Formação Serra Geral. O padrão de drenagem que se destaca é o dendrítico com vertentes curtas. A sub-bacia 9 abrange a área incrementada da sub-bacia 10.
10	Compreende altitudes que variam entre 278 m e 1333 m, englobando todas as sub-bacias anteriores com suas informações, com aumento considerável na Formação Serra Geral. Abrange a área incrementada de todas as sub-bacias anteriores.
11	Compreende altitudes que variam entre 255 m e 1.333 m. Neste ponto da bacia já começa a abranger a Formação Caiuá com os depósitos sedimentares continentais constituídos predominantemente por arenitos médios a finos, quartzosos, com feldspato, calcedônia e opacos. A tendência é apresentar termos mais finos na porção inferior, e termos mais grossos nas porções superiores. Os arenitos apresentam-se cimentados por pequenas quantidades de hidróxidos de ferro e argila, podendo ocasionalmente apresentar intensa cimentação por sílica, originando variedades duras e resistentes (MÜLLER, 2012). A maior parte das áreas de ocorrência do Arenito Caiuá apresenta-se coberto por espessura variável (até duas dezenas de metros) de coluviões arenosos a areno-argilosos de idade quaternária. A classe geológica dos Sedimentos Inconsolidados também passa a ficar bem significativa, por se apresentar próxima a foz do rio principal, o Ivaí. O padrão de drenagem que se destaca é o dendrítico com vertentes médias. Abrange a área incrementada de todas as sub-bacias anteriores.
12	Composta principalmente pelo rio Dos Índios, localizado na margem direita do rio Ivaí e compreende altitudes que variam entre 285 m e 603 m e inteiramente abrangida pela Formação Caiuá.
13	Compreende altitudes que variam entre 242 m e 1.333 m e abrange a área incrementada de todas as sub-bacias, representando a área total de estudo.

Para calcular o DFC cada parâmetro é fixado por um índice que propõem a análise qualitativa da bacia hidrográfica de estudo. Os parâmetros foram calculados com as equações específicas apresentadas na TABELA 3.

TABELA 3. EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO DFC.

PARÂMETRO	EQUAÇÃO	VARIÁVEIS
CA – proteção da cobertura vegetal atual ao solo	$\frac{\sum Au \cdot peso}{A}$	<i>lcs</i> – índice de cobertura do solo por sub-bacia; <i>Au</i> – área de cada tipo de cobertura (km ²); <i>peso</i> – peso de cada tipo de cobertura; <i>A</i> – área da bacia (km ²)
CO – grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e a atual (%)	$\left(\frac{Avi - Avf}{A} \right) \cdot 100$	<i>lcv</i> – índice de semelhança vegetal por sub-bacia; <i>Avi</i> – área de cobertura vegetal inicial (km ²); <i>Avf</i> – área de cobertura vegetal final (km ²); <i>A</i> – área da bacia (km ²)
DM – declividade média (%)	$\frac{(LCN \cdot E)}{A}$	<i>LCN</i> – longitude das curvas de nível (m); <i>A</i> – área por sub-bacia (km)
<i>E</i> – erosividade da chuva (MJ mm ha ⁻¹ ano ⁻¹)	$6,886 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85}$	<i>p</i> – precipitação média mensal (mm); <i>P</i> – precipitação média anual (mm)
PE – potencial erosivo do solo (adimensional)	$\frac{(Ape \cdot fator k)}{A}$	<i>lpe</i> – índice do potencial erosivo do solo por sub-bacia (adimensional); <i>Ape</i> – total das áreas das classes do potencial erosivo em cada sub-bacia (km ²); <i>fator k</i> – valores superiores do escalonamento dos índices de potencial erosivo (adimensional); <i>A</i> – área das classes de potencial erosivo em cada sub-bacia (km ²)
Dd – densidade de drenagem (km.km ⁻²)	$\frac{Lt}{A}$	<i>Lt</i> – comprimento total dos canais (km); <i>A</i> – área da bacia (km ²)
BH – balanço hídrico (mm.ano ⁻¹)	$P - EVT$	<i>P</i> – precipitação (mm); <i>EVT</i> – evapotranspiração (mm.ano ⁻¹)

4.2.2 Proteção da cobertura vegetal atual ao solo – Parâmetro CA

Para a obtenção da cobertura vegetal atual foi necessário proceder ao levantamento das informações sobre o uso da terra dos períodos de 1986, 2000 e 2011. Os períodos foram escolhidos para coincidir com o levantamento hidrológico, a fim de comparação e também visando a não interferência de cobertura de nuvens das imagens do satélite LANDSAT 5.

Para a elaboração da carta de uso e cobertura do solo foi realizada a classificação supervisionada no *software* ENVI 4.5 (ENVI®, 1997). O classificador foi o de Distância Mínima, que comparado aos demais (Paralelepípedo, MAXVER, Mahalanobis, entre outros), foi o que apresentou melhores resultados na matriz de confusão. Os modelos de classes são caracterizados pela simetria espectral. O método de distância mínima atribui cada pixel desconhecido à uma classe cuja média esteja mais próxima. As categorias de uso da terra adaptadas do Manual do

uso da Terra (IBGE, 2013), foram Corpos d'Água, Matas Naturais e/ou Silvicultura, Pastagem, Agricultura e Áreas Urbanas. Os pesos dos índices de proteção proporcionados por cada tipo de uso foram, respectivamente: 0,1; 1,0; 0,8; 0,6; 0,4 e 0,1 (CARVALHO, 2004). Com base nas imagens de satélite dos anos de 1986, 2000 e 2011, compreendendo um período de multitemporalidade de vinte e cinco anos, foi verificada a variação temporal da cobertura da terra. A estimativa foi realizada com o uso de imagens Landsat TM 5 (INPE, 2013), em que houve o cuidado de atender a mesma sazonalidade e as conferências a campo com o Google Maps.

Após a identificação das classes de uso da terra por sub-bacia, e calculada a área de cada classe para a determinação do grau de proteção do solo, procedeu-se a classificação final do parâmetro CA e subíndice por sub-bacia (TABELA 4).

TABELA 4. PARÂMETRO CA – ÍNDICE DE PROTEÇÃO TOTAL

ÍNDICE	CLASSIFICAÇÃO	PESO DO ÍNDICE
1,0 a 0,80	Alta proteção	1
0,79 a 0,50	Média proteção	2
0,49 a 0,20	Baixa proteção	3
0,19 a 0,0	Nenhuma proteção	4

Adaptado de CARVALHO (2004).

4.2.3 Cobertura Vegetal Original – Parâmetro CO

A determinação da cobertura vegetal original foi realizada a partir do levantamento fitogeográfico do Estado do Paraná divulgado pelo ITCG (2009) (FIGURA 11).

A partir das imagens orbitais Landsat TM 5 (INPE, 2013) dos anos de 1986, 2000 e 2011 foi verificada a situação da cobertura vegetal da bacia em sua multitemporalidade. Foram utilizadas as informações de vegetação levantadas para o parâmetro CA do subtópico anterior. Assim, foi calculada a área de mata por sub-bacia e, baseando-se no grau de semelhança (TABELA 5), foi estabelecido o parâmetro CO e subíndice para cada sub-bacia.

TABELA 5. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE SEMELHANÇA PARA O PARÂMETRO CO

GRAU DE SEMELHANÇA (%)	NÍVEIS	PESO DO ÍNDICE
81 a 100	Alta semelhança	1
61 a 80	Semelhante	2
41 a 60	Média semelhança	3
21 a 40	Baixa semelhança	4
01 a 20	Nenhuma semelhança	5

FONTE: BELTRAME (1994)

4.2.4 Mapeamento da declividade média do terreno – parâmetro DM

O mapeamento da declividade do terreno foi confeccionado extraindo-se os *rasters* de declividade média a partir do mapa de declividade e do MDE (SRTM, 2003). O MDE no formato *raster* foi trabalhado no módulo ArcMap do ArcGIS (ESRI®, 2012), na extensão *Spatial Analyst*, em que se determinou a área e extensão total das curvas de nível de cada sub-bacia.

Foram adotadas quatro classes temáticas, com os intervalos de declividade: menor que 8%, 9 a 20%, 21 a 45% e acima de 45% (definidas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos), determinando o parâmetro DM e subíndices (TABELA 6).

TABELA 6. CLASSES DE DECLIVIDADE E SUBÍNDICES – PARÂMETRO DM.

DECLIVIDADE	RELEVO	PESO DO ÍNDICE
Até 8%	Suave ondulado	1
9 a 20%	Ondulado	2
21 a 45%	Forte ondulado	3
Acima de 45%	Declivoso	4

Adaptado de CARVALHO (2004)

4.2.5 Erosividade da pluviosidade – Parâmetro E

Para o cálculo da erosividade da pluviosidade em cada sub-bacia do complexo hidrográfico do Ivaí, determinou-se a precipitação média, processo realizado com a utilização da técnica dos polígonos de “*Thiessen*” (BELTRAME, 1994).

Polígonos de *Thiessen* são áreas de “domínio” de um posto pluviométrico. Considera-se que no interior dessas áreas a altura pluviométrica é a mesma do respectivo posto. Os polígonos foram traçados automaticamente com a ferramenta *Create Thiessen Polygons* do ArcGis, baseando-se em 110 pluviômetros espalhados por toda a área de estudo. A seguir, a precipitação média na bacia foi calculada com a EQUAÇÃO 19:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A} \quad (19)$$

Sendo:

\bar{P} - precipitação média na bacia (mm);

\bar{P}_i - precipitação no posto i (mm);

A_i - área do respectivo polígono, dentro da bacia (km²);

A - área total da bacia.

As estações pluviométricas (ÁGUASPARANÁ, 2012) foram escolhidas considerando a existência de dados em comum nos períodos de 1985 a 2012, para coincidir com o período multitemporal de uso do solo, e permitir comparação.

Aplicou-se os resultados da pluviosidade média na equação da erosividade (TABELA 3) e realizou-se a classificação dos índices apresentados na TABELA 7.

TABELA 7. CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES DE EROSIVIDADE DA PLUVIOSIDADE PARA O ESTADO DO PARANÁ

ÍNDICE (MJ mm ha ⁻¹ ano ⁻¹)	QUALIFICAÇÃO	SUBÍNDICE
Menor 670,15	Erosividade débil	1
670,15 - 847,80	Erosividade média	2
847,80 - 1.025,46	Erosividade forte	3
1.025,46 - 1.203,11	Erosividade muito forte	4
Acima 1.203,11	Erosividade excessiva	5

FONTE: CARVALHO (2004)

4.2.6 Potencial erosivo dos solos – Parâmetro PE

O PE identifica a vulnerabilidade do solo à erosão. Para o cálculo foi adotada a metodologia de Chueh; Santos (2005), em que foi desenvolvido um fator de erodibilidade do solo (k), expresso como perda de solo (A) por unidade de índice de erosão (E).

Para a classificação do potencial erosivo dos solos da bacia do rio Ivaí, representado no mapa de potencial erosivo do solo, foi utilizado o levantamento da EMBRAPA (2008), na escala 1:250.000. Por meio do programa computacional ArcView 10.1, resultou no mapa de solos (FIGURA 6) da bacia do rio Ivaí, o qual foi correlacionado com as informações relativas às características morfológicas gerais dos solos descritos para se obter o fator de erodibilidade dos solos - *fator K*. O fator de erodibilidade do solo (K) é expresso como perda de solo (A) por unidade de índice de erosão (E), cuja unidade é Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (TABELA 8).

Entre os principais critérios no levantamento estão características morfológicas gerais dos solos como a profundidade efetiva, drenagem/permeabilidade do perfil, textura e pedregosidade.

TABELA 8. FATOR DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BACIA DO RIO IVAÍ.

Tipologia	Descrição	Erodibilidade (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Suscetibilidade à erosão
CHa, CXbd	CAMBISSOLOS	0,0356	Alta
GM, GX	GLEISSOLOS	0,0001	Baixa
LBd, LVd, LVdf, LVe, LVef	LATOSSOLOS	0,0182	Baixa
NBa, NBd, NVdf, NVef	NITOSSOLOS	0,0182	Baixa
OX	ORGANOSSOLO	0,0001	Baixa
PVAd, PVd, PVe	ARGISSOLOS	0,0375	Alta
RLdh, RLh, RRd, RRdh, RRe, RYbd, RYq	NEOSSOLOS	0,04	Alta

Legenda: CHa (Cambissolo Húmico alumínico), CXbd (Cambissolo Háplico Distrófico); GM (Gleissolo Melânico), GX (Gleissolo Háplico); LBd (Latossolo Bruno Distrófico), LVd (Latossolo Vermelho distrófico), LVdf (Latossolo Vermelho distroférico), LVe (Latossolo Vermelho Eutrófico), LVef (Latossolo Vermelho Eutroférico); NBa (Nitossolo Bruno Alumínico), NBd (Nitossolo Bruno Distrófico), NVdf (Nitossolo Vermelho distroférico), NVef (Nitossolo Vermelho Eutroférico); OX (Organossolo Háplico); PVAd (Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico), PVd (Argissolo Vermelho Distrófico), PVe (Argissolo Vermelho Eutrófico); RLdh (Neossolo Litólico Distro-úmbrico), RLh (Neossolo Litólico Húmico), RRd (Neossolo Regolítico Distrófico), RRdh (Neossolo Regolítico Distro-úmbrico), RRe (Neossolo Regolítico Eutrófico), RYbd (Neossolo Flúvico Tb distrófico), RYq (Neossolo Flúvico Psamítico).

Fonte: Baseado em Chueh; Santos (2005).

Os valores da erodibilidade (TABELA 8) foram cruzados com a declividade resultando em uma matriz (TABELA 9), em que foram combinadas as diferentes classes de cada parâmetro. Os valores obtidos foram expressos em classes de potencial erosivo do solo.

TABELA 9. MATRIZ DE INTEGRAÇÃO ENTRE OS SUBÍNDICES DE DECLIVIDADE E SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PARA A BACIA DO RIO IVAÍ

Declividade	Solos	
	1 (baixa)	2 (alta)
1	11	12
2	21	22
3	31	32
4	41	42

Legenda:

- 11 - Baixo potencial erosivo
- 12 - Baixo a moderado potencial erosivo
- 21 - Moderado a baixo potencial erosivo
- 22 - Moderado a alto potencial erosivo
- 31 - Alto a moderado potencial erosivo
- 32 - Alto a muito alto potencial erosivo
- 41 - Muito alto a alto potencial erosivo
- 42 - Muito alto potencial erosivo

Baseado em CHUEH; SANTOS (2005)

Para calcular o PE de cada sub-bacia foi aplicada a equação da TABELA (3) e os critérios da Tabela 10:

TABELA 10. ESCALONAMENTO DOS ÍNDICES DO POTENCIAL EROSIVO

QUALIFICAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO	ESCALONAMENTO (FATOR K)	PESO DO ÍNDICE
Baixo	0,0 a 0,0125	1
Baixo a moderado/Moderado a baixo	0,0126 - 0,0375	2
Moderado a alto/Alto a moderado	0,0376 - 0,0625	3
Alto a muito alto/Muito alto a alto	0,0626 - 0,0875	4
Muito alto	0,0876 - 0,1	5

Baseado em CHUEH; SANTOS (2005)

4.2.7 Densidade de drenagem - Parâmetro DD

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia. De acordo com Beltrame (1994), os valores para o índice de drenagem distribuem-se de acordo com a TABELA 11.

TABELA 11. CLASSES DE DECLIVIDADE E SUBÍNDICES - PARÂMETRO DM.

VALORES DA DD (km km ⁻²)	QUALIFICAÇÃO DA DD	PESO DO ÍNDICE
Menor que 0,5	Baixa	1
De 0,5 a 2,00	Mediana	2
De 2,00 a 3,50	Alta	3
Maior que 3,50	Muito alta	4

4.2.8 Balanço hídrico – Parâmetro BH

Para a determinação do parâmetro foram utilizadas séries de precipitação e vazão diárias do período de 1985 a 2012. Para abranger toda a área de estudo foram consideradas 110 estações pluviométricas localizadas ao longo das sub-bacias. Os dados foram obtidos junto à ÁGUASPARANÁ (2012). Para a obtenção final do parâmetro foram calculadas as médias anuais de evapotranspiração e pluviosidade, descritas a seguir.

As unidades dos dados de vazão de $m^3 s^{-1}$ foram convertidas para $mm ano^{-1}$. Para a classificação final, foi adotado os limites sugeridos por Carvalho; Stipp (2004), que realizaram a classificação para o Estado do Paraná (TABELA 12).

TABELA 12. CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DOS BALANÇOS HÍDRICOS PARA O PARANÁ.

BALANÇO HÍDRICO	QUALIFICAÇÃO DO BH	PESO DO ÍNDICE
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior a 1596,52 $mm\ ano^{-1}$	Muito Alto	1
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico entre 798,26 até 1596,52 $mm\ ano^{-1}$	Alto	2
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico até 798,26 $mm\ ano^{-1}$	Médio	3
Com deficiência hídrica, pelo menos em um mês/ano; com qualquer excedente hídrico	Baixo	4

FONTE: CARVALHO; STIPP (2004)

Os parâmetros obtidos foram inseridos na função descritiva (EQUAÇÃO 20):

$$E(f) = CA_a + CO_b + DM_c + E_d + PE_e + DD_f + BH_g \quad (20)$$

Sendo:

$E(f)$ – estado físico conservacionista do setor, sendo (f) a função descritiva, proporcional ao somatório dos índices de cada parâmetro;

CA_a - proteção da cobertura vegetal atual ao solo, sendo “a” o índice específico do parâmetro, que varia entre 1 (proteção máxima) e 4 (nenhuma proteção).

CO_b - grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e a atual, sendo “b” o índice específico do parâmetro, que varia de 1 (altamente semelhante) a 5 (nenhuma semelhança).

DM_c - declividade média, sendo “c” o índice específico deste parâmetro, que varia entre 1 (relevo plano) e 4 (montanhoso à escarpado).

E_d - erosividade da pluviosidade, sendo “d” o índice específico do setor, que varia entre 1 (erosão débil) e 5 (erosão excessiva).

PE_e - potencial erosivo dos solos, sendo “e” o índice específico do parâmetro, que varia de 1 (baixo) a 5 (muito alto).

DD_f - densidade de drenagem, sendo “f” o índice específico do parâmetro, que varia de 1 (baixa) a 4 (muito alta).

BH_g - balanço hídrico, sendo “g” o índice específico do parâmetro, que varia de 1 (muito alto) e 4 (baixo).

Para obtenção dos valores finais, somou-se os valores mínimos dos parâmetros, por sub-bacia, que representam o melhor estado físico-conservacionista

e, os valores máximos, que representam o pior estado físico-conservacionista (TABELA 13).

TABELA 13. SÍNTESE DOS SETORES – BACIA DO RIO IVAÍ.

PARÂMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Cobertura Vegetal Atual	01	04
Cobertura Vegetal Original	01	05
Declividade Média	01	04
Erosividade da Pluviosidade	01	05
Potencial Erosivo dos Solos	01	05
Densidade de Drenagem	01	04
Balanço Hídrico	01	04
SOMATÓRIA DOS ÍNDICES	07	31

Determinado o $E(f)$ por sub-bacia, bem como os valores mínimos e máximos do somatório dos índices, obteve-se o DFC em percentual usando-se a relação (EQUAÇÃO 21):

$$DFC = \frac{25}{6} (E(f) - 7) \quad (21)$$

Sendo:

DFC – diagnóstico físico conservacionista;

$E(f)$ – estado físico conservacionista do setor, sendo (f) a função descritiva proporcional à soma dos índices dos parâmetros.

O DFC também será analisado: (1) apenas com as médias dos parâmetros; (2) com todos os pesos dos índices iguais a 4; e, (3) todos os pesos dos índices iguais a 5. Dessa forma poderá ser verificada se haverá alterações nas correlações e se o grau das variações são significativos.

4.3 DETERMINAÇÃO DA MORFOMETRIA EM CANAIS FLUVIAIS

Os parâmetros morfométricos referentes à análise linear, areal e hipsométrica da rede hidrográfica da bacia do rio Ivaí, foram calculados com as equações específicas apresentadas na TABELA 14.

TABELA 14. EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS REFERENTES À ANÁLISE LINEAR, AREAL E HIPSOMÉTRICA DA REDE HIDROGRÁFICA.

PARÂMETRO MORFOMÉTRICO	EQUAÇÃO	VARIÁVEIS
(a) Análise linear da rede hidrográfica		
Rlm – relação entre os comprimentos médios dos canais de cada ordem (adimensional)	$\frac{Lm_w}{Lm_{w-1}}$	Lm_w – comprimento médio dos canais de determinada ordem (km); Lm_{w-1} – comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (km).
L – comprimento do rio principal (km)	L	Distância da nascente mais distante até a foz (km).
Eps – extensão do percurso superficial (km)	$\frac{1}{2 \cdot Dd}$	Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}).
G – gradiente dos canais (%)	$(H - \frac{h}{L}) \cdot 100$	H – altitude da nascente (m); h – altitude da foz (m); L – Comprimento do rio principal (km).
I_{sin} – índice de sinuosidade (adimensional)	$\frac{L}{Lt}$	L – comprimento do rio principal (km); Lt – comprimento do eixo da bacia (km).
Lm – comprimento médio dos rios (km)	$\frac{Lu}{Nu}$	Lu – extensão total dos rios (km); Nu – número total de rios (quantidade).
(b) Análise areal da rede hidrográfica		
A – Área da bacia (m^2 ou km^2)	A	Refere-se à toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, fornecida em m^2 ou km^2 , principalmente.
Ff – fator forma da bacia (adimensional)	$\frac{A}{L^2}$	A – área da bacia (km^2); L – comprimento do eixo (km).
K_c – índice de compacidade (adimensional)	$\frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$	P – perímetro da bacia (km); A – área da bacia (km^2).
Dr – densidade de rios (rios km^{-2})	$\frac{N}{A}$	N – número de nascentes (quantidade); A – área da bacia (km^2).
Dd – densidade de drenagem (km km^{-2})	$\frac{Lt}{A}$	Lt – comprimento total dos canais (km); A – área da bacia (km^2).
Cm – coeficiente de manutenção ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$)	$\frac{1}{Dd} \cdot 1000$	Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}).
(c) Análise hipsométrica da rede hidrográfica		
Hm – amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	$AN - AF$	AF – altitude da foz (m); AN – altitude do ponto mais alto do divisor topográfico (m).
R_r – relação de relevo (m m^{-1})	$\frac{Hm}{Lb}$	Hm – amplitude topográfica máxima (m); Lb – comprimento da bacia (m).
I_r – índice de rugosidade (adimensional)	$H \cdot Dd$	H – amplitude altimétrica (km); Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}).
Tt – textura topográfica (adimensional)	$\frac{1,6582462}{Dd^{1,115}}$	Dd – densidade de drenagem (km km^{-2}).

FONTE: SOARES; SOUZA (2013).

Para a determinação da morfometria da bacia do rio Ivaí foram levantados os seguintes dados: ordem de canais, de acordo com o esquema de ordenação de Strahler (1974); número de canais; perímetro total da bacia; altitudes máxima, média e mínima; dimensão do perfil longitudinal total; diferença entre altitudes máxima e

mínima da área drenada; diferença em metros ao longo do perfil longitudinal; e, área total da bacia.

Os dados foram utilizados para o cálculo de parâmetros morfométricos tais como: densidade hidrográfica; densidade de drenagem; gradiente de canais; relação de relevo; coeficiente de manutenção; índice de circularidade; e, índice de sinuosidade. Os mapas foram gerados em formato digital utilizando-se *softwares* de Sistemas de Informação Geográficas (SIG's) denominado ArcGis.

4.4 ASSOCIAÇÕES DAS INFORMAÇÕES E PROCEDIMENTO PARA AS CORRELAÇÕES COM AS VAZÕES

Os dados de vazão e pluviosidade foram obtidos junto a AGUASPARANÁ (2012) e foram utilizadas as séries históricas das estações de monitoramento. A análise estatística de conversão dos dados diários em dados anuais foi realizado em uma planilha eletrônica. Foram realizados os cálculos de média, desvio padrão, coeficiente de correlação, limites superiores e inferiores, intervalos de confiabilidade e gráficos. Os dados hidrológicos foram fundamentais na presente pesquisa, para confrontar os valores obtidos do levantamento fisiográficos e verificar o grau de relação com a vazão.

A curva de permanência das vazões foi elaborada dispondo as vazões diárias observadas no período considerado em ordem decrescente. Foi calculada a frequência relativa (frequência absoluta/número de dados) para cada intervalo e acumuladas seguindo a ordem anterior. Plotou-se gráficos com o limite inferior de cada intervalo (ordenada) e a correspondente frequência relativa acumulada (abscissa). Simplificou-se a vazão específica pela vazão média. O mesmo procedimento foi aplicado para a elaboração das vazões máxima anual e mínima de 7 dias, 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias.

As análises estatísticas multivariadas foram realizadas baseando-se nos procedimentos sugeridos por MOITA NETO (2008). O *software* estatístico utilizado foi o BioEstat 5.3 (AYRES *et al.*, 2007), desenvolvido no Departamento de Estatística da Universidade Federal do Pará, no Brasil.

A técnica estatística multivariada ACP foi aplicada inicialmente para a identificação das variáveis que podem ser descartadas, sendo aquelas associadas aos menores autovalores. O procedimento é realizado analisando-se os coeficientes dos autovetores associados com os autovalores. Considera-se que p variáveis são analisadas e que k variáveis são retidas. Portanto, $p-k$ variáveis são rejeitadas. Inicialmente considera-se o autovetor associado com o menor autovalor, e rejeita-se a variável associada com o elemento do autovetor com maior valor absoluto. Em seguida o autovetor com o próximo menor autovalor é considerado. O processo continua até que os $p-k$ autovetores associados com os menores autovalores sejam considerados. As k variáveis que não são rejeitadas são as mais importantes.

Em seguida aplicou-se a técnica de Análise de Correlação Canônica (ACC). Trata-se de um modelo de análise multivariada de causa e efeito que permite investigar o relacionamento entre duas séries de variáveis: um grupo de variáveis X (vazões) e o outro de variáveis Y (fisiográficas). A associação entre os grupos de variáveis tem como resultante a correlação (R_c) – denominada *Canônica*.

Na aplicação da ACC, observa-se o *p-value*, verificando-se se todas as correlações canônicas são estatisticamente importantes a um nível de significância igual a 5% pelo teste do qui-quadrado. Analisa-se os primeiros autovalores e as correlações canônicas (raiz quadrada de cada autovalor) verificando o grau de correlação. Assim, obtêm-se os pares de variáveis canônicas, U_1 e V_1 e U_2 e V_2 , com as correlações respectivas e os graus de significância. Se os resultados das correlações forem insignificantes entre os grupos, os métodos (DFC e os parâmetros de levantamento morfométrico em canais fluviais) serão considerados ineficientes para regionalizar vazões.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNOSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA – DFC DA BACIA DO RIO IVAÍ

5.1.1 Proteção da Cobertura Atual ao Solo – Parâmetro CA

As categorias de uso da terra adaptadas do Manual do Uso da Terra (IBGE, 2013), Corpos d'água, Mata Natural e/ou Silvicultura, Pastagem, Agricultura e Áreas Urbanas podem ser visualizadas nas FIGURAS 13, 14 e 15 e TABELA 15.

As ocupações mais expressivas na bacia do rio Ivaí são agricultura e pastagem que, se concentram em toda a área, principalmente na parte central em direção à foz do rio principal.

TABELA 15. PRINCIPAIS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ, NOS ANOS DE 1986, 2000 E 2011 EM RELAÇÃO À ÁREA TOTAL DA BACIA E VARIAÇÕES.

Usos	Ocupação da bacia (%)			Variações (%) entre:		
	1986	2000	2011	1986 e 2000	2000 e 2011	1986 e 2011
Corpos d'água	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
Matas Naturais	17,5	12,6	16,3	-4,9	3,7	-1,2
Pastagem	20,4	19,8	12,4	-0,6	-7,3	-7,9
Agricultura	61,1	66,3	69,7	5,2	3,4	8,6
Áreas Urbanas	0,5	0,9	1,1	0,4	0,2	0,5

Para a classe Corpos d'água não houve alterações no período analisado, e pouco realizou significativamente na bacia em relação ao represamento e atividades antrópicas após o ano de 1986. Esse aspecto foi considerado ponto positivo para a avaliação dos resultados. A classe de uso Matas Naturais e/ou Silvicultura, referente ao ano de 1986, representava 17,5% da área de estudo, com queda de 4,9% em relação ao ano de 2000 e aumento de 3,7 no percentual em 2011, e queda geral no período de 1,2%. A classe envolve tanto florestas como reflorestamento que pode incluir atividades de silvicultura, tendo em vista que a ocupação não demanda uso muito intensivo do solo, em comparação com as atividades agrícolas anuais.

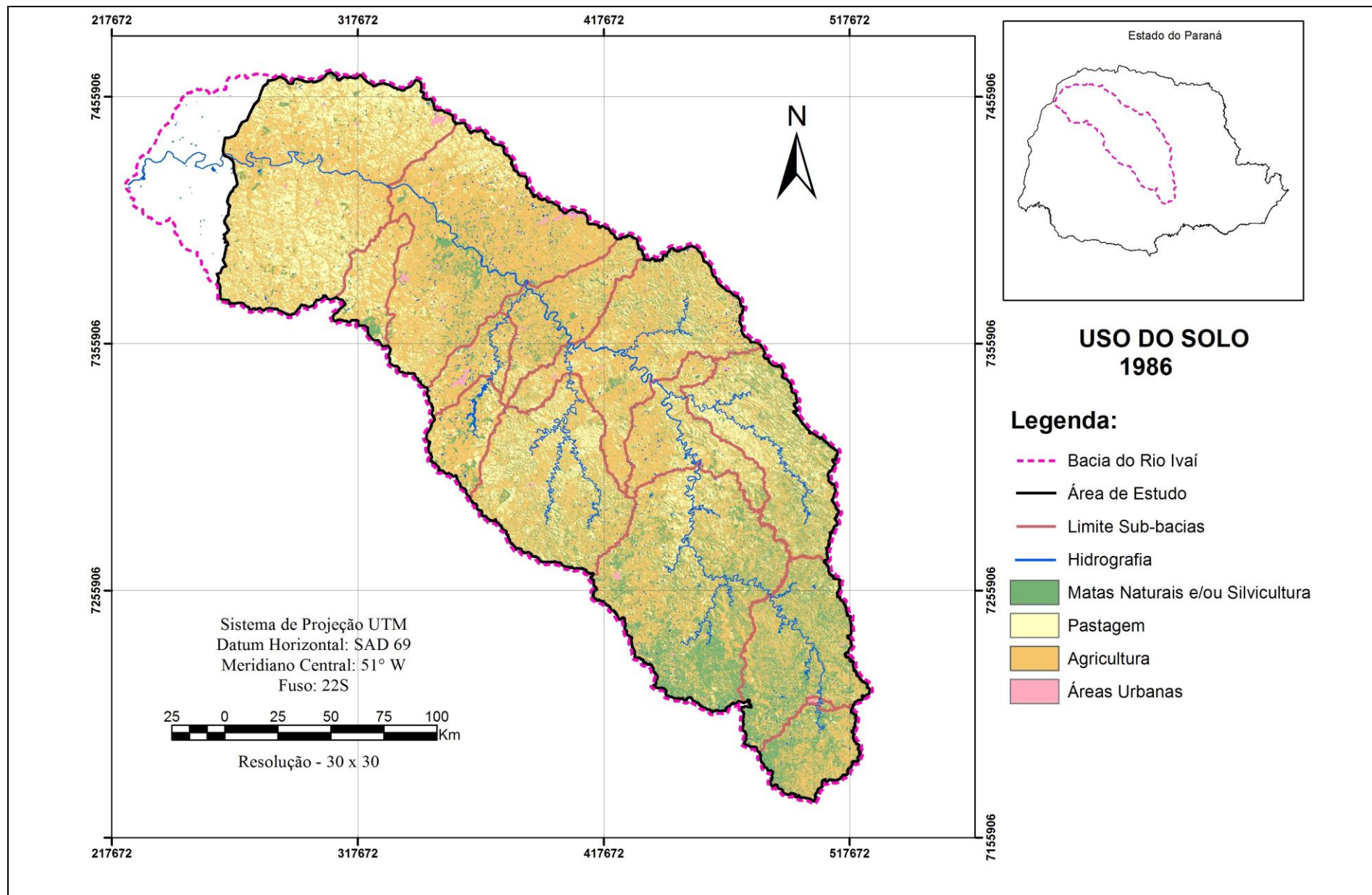


FIGURA 13 – CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 1986. FONTE: INPE, 2013; ORG.: SOARES, M., 2014.

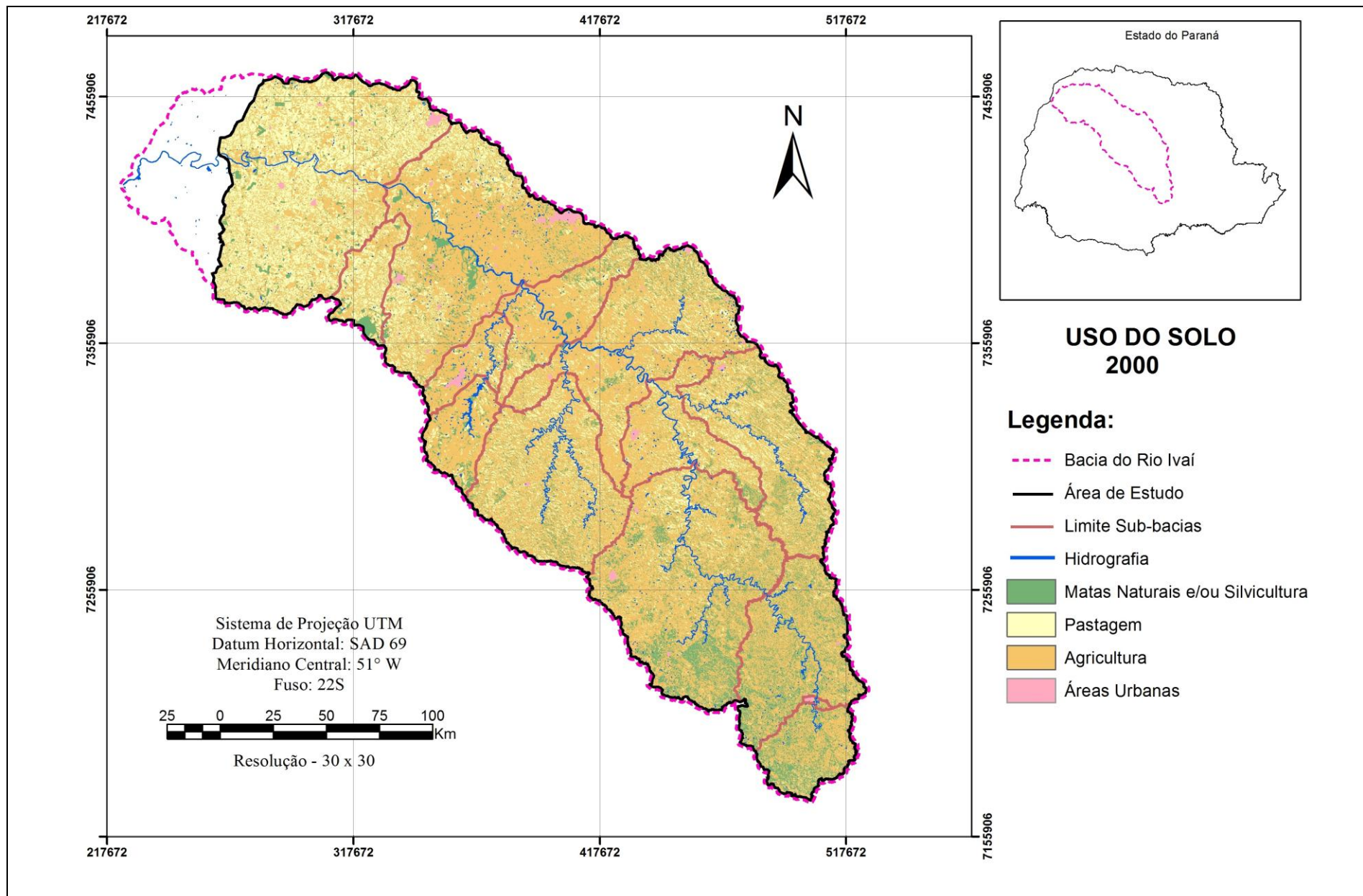


FIGURA 14 – CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 2000. FONTE: INPE, 2013; ORG.: SOARES, M., 2014.

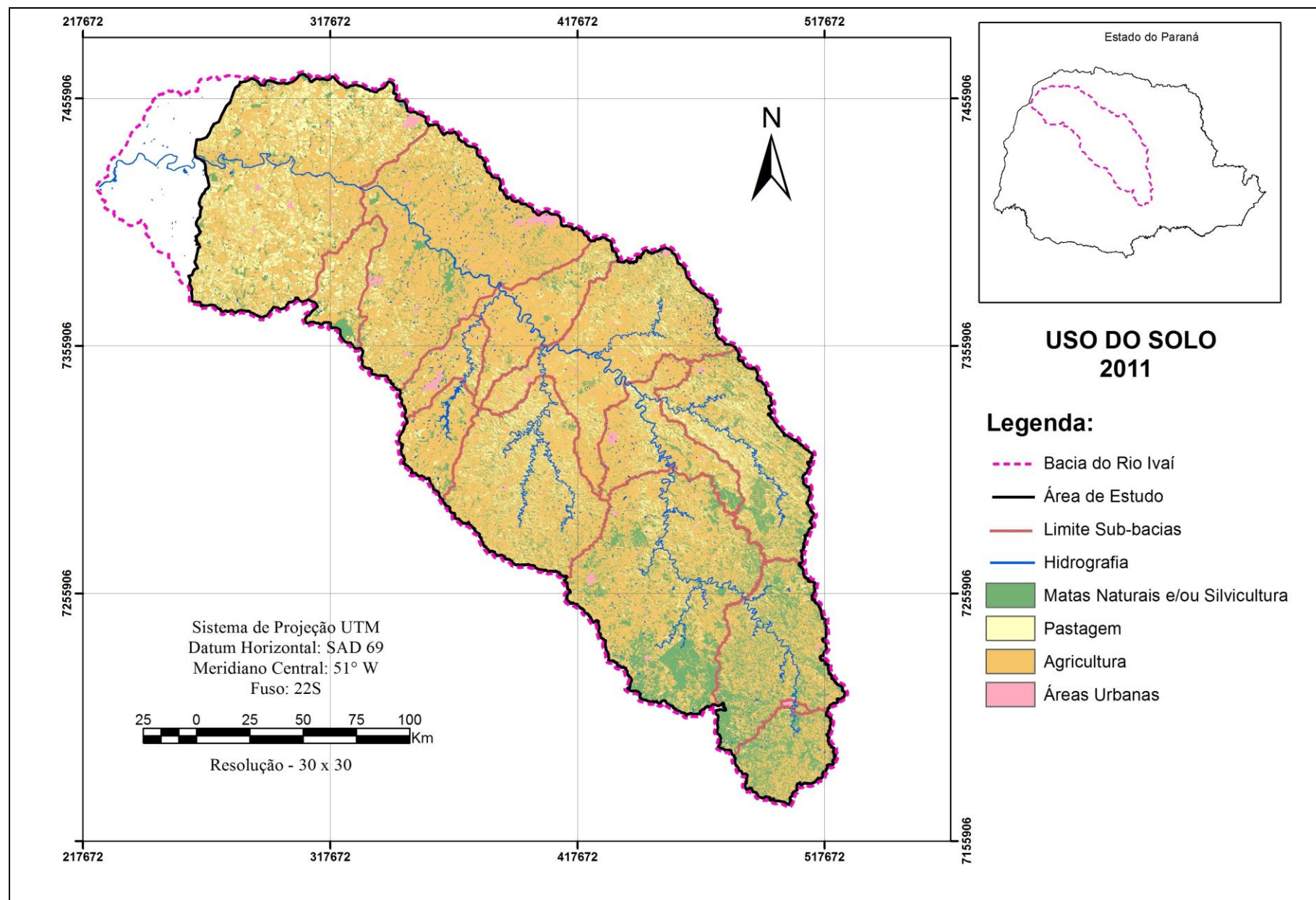


FIGURA 15 – CARTA DAS CLASSES DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO IVAÍ – 2011. FONTE: INPE, 2013; ORG.: SOARES, M., 2014.

De acordo com Campos (2013), que analisou a evolução multitemporal do uso do solo para verificar a evolução da vegetação em dois trechos da bacia do rio Ivaí, o reflorestamento aumentou na área estudada em 2010, relacionada a 1970. Segundo o autor, o aumento pode ter sido motivado pelo processo de conscientização dos proprietários rurais quanto à importância das áreas para a melhoria da qualidade ambiental local, por ações de incentivos dos programas governamentais para a restauração de matas ciliares, por exigências legais impostas aos proprietários rurais pelos agentes fiscais, ou todas essas motivações conjuntamente. Contudo, não explica a queda até 2000 na vegetação, mas sim o posterior aumento em relação a 2011, tendo em vista que o Decreto Estadual nº 387 data do dia 02 de março de 1999. O decreto Institui o Sistema de Manutenção, Recuperação e Proteção da Reserva Florestal Legal e Áreas de Preservação Permanente – SISLEG, no Estado do Paraná (PARANÁ, 1999).

A classe de uso Pastagem diminuiu dando lugar para as atividades agrícolas. As Áreas Urbanas aumentaram 0,5% no total geral do período analisado (1986 a 2011). As características físicas da bacia do rio Ivaí são favoráveis à agricultura devido aos solos de alta fertilidade e declividades não tão acentuadas que propicia a implantação e o desenvolvimento de agricultura altamente tecnificada. Atualmente a região é uma das principais fornecedoras de matérias-primas para as agroindústrias, e entre os produtos oferecidos estão a cana, a soja e o milho (CAMPOS, 2013). As características foram determinantes para o surgimento e fortalecimento da agroindústria regional, tendo empresas de grande porte, como a COCAMAR (Cooperativa Agroindustrial de Maringá) e COAMO (Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda.). Com isso é natural que parte de regiões antes ocupadas com pastagem fossem substituídas pela agricultura, o que explica a sua diminuição em decorrência do aumento da classe agrícola, além do reflorestamento na beira dos rios.

Os dados são confirmados pelo IBGE (2011) quanto ao uso da terra do Estado do Paraná, relacionada à agricultura: 60625,59 km² para o ano de 1985, 73611 km² para o ano de 2000 e 86746,85 km² para o ano de 2011. O uso com pastagem, em 1985, ocupava área de 59996,04 km² e em 2009 apresentou queda no uso da terra para 47025,46 km², redução de 12970,58 km² para a pecuária, com aumento de 26121,26 km² para a agricultura. Esta última no período entre 1985 e 2011 (CANTO *et al.*, 2010).

As informações das classes de uso e ocupação do solo dos anos de 1986, 2000 e 2011, por sub-bacia, bem como os índices de proteção estão apresentados na TABELA 16.

TABELA 16. USO DO SOLO E ÍNDICE DE PROTEÇÃO FORNECIDO AO SOLO PELA COBERTURA ATUAL POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ – PR.

SUB-BACIA	USO 1986						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1,1	455,2	33,3	564,5	0,0	610,1	0,58
2	1,4	467,9	34,9	579,3	6,0	627,8	0,58
3	9,2	1547,3	177,7	1823,2	9,1	2075,6	0,58
4	32,3	3241,6	788,9	4465,6	16,8	4857,8	0,57
5	8,4	584,0	721,1	1295,9	2,6	1419,3	0,54
6	55,5	4005,4	1878,5	6745,0	19,3	7037,0	0,55
7	14,4	429,9	893,9	1936,7	2,2	1656,6	0,51
8	85,6	2549,5	5301,6	11486,1	13,2	9824,9	0,51
9	17,6	190,0	241,7	1083,7	20,3	734,3	0,47
10	14,2	111,8	143,5	584,6	0,0	410,9	0,48
11	126,5	5270,8	3803,7	13228,4	69,1	11809,8	0,52
12	150,3	5885,0	4647,8	17573,8	146,2	14555,9	0,51
13	0,4	63,6	235,1	501,5	1,8	392,8	0,49
14	171,3	6034,8	7007,6	21025,3	180,3	17477,7	0,51
SUB-BACIA	USO 2000						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1,1	380,1	30,6	642,3	0,0	579,5	0,55
2	1,4	388,5	30,9	660,3	8,5	594,4	0,55
3	9,3	1146,0	103,3	2294,9	13,0	1899,0	0,53
4	32,5	2213,8	528,9	5742,8	27,2	4391,5	0,51
5	8,5	363,6	476,9	1757,5	5,3	1281,4	0,49
6	55,9	2696,3	1266,1	8640,1	45,4	6382,8	0,50
7	14,4	305,2	594,1	2359,8	3,6	1546,3	0,47
8	94,6	3274,1	2414,2	13571,0	82,1	9513,9	0,49
9	17,7	140,0	146,7	1216,8	32,1	691,7	0,45
10	14,3	91,3	71,8	675,1	1,7	387,8	0,45
11	126,6	3544,9	2740,5	15964,3	122,2	10890,8	0,48
12	150,4	4080,1	3858,1	20069,6	244,8	14747,6	0,48
13	0,4	87,9	306,5	405,3	2,4	416,6	0,52
14	170,9	4340,4	6798,5	22806,5	303,0	1672,4	0,49
SUB-BACIA	USO 2011						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1,1	453,9	14,9	581,8	2,5	605,1	0,57
2	1,4	463,5	15,3	596,2	13,1	620,0	0,57
3	9,3	1447,8	98,9	1988,8	21,7	2016,2	0,57
4	32,5	2927,1	431,5	5109,7	44,4	4652,1	0,54
5	8,5	575,9	452,5	1569,2	5,8	1361,3	0,52
6	56,0	3684,9	1074,0	7818,9	70,2	6732,4	0,53
7	14,4	332,1	504,3	2421,4	4,8	1538,8	0,47
8	95,1	4292,6	2013,2	12921,4	113,8	9831,5	0,51
9	17,7	151,0	101,7	1248,2	34,8	686,3	0,44
10	14,3	98,7	48,5	691,1	1,6	386,1	0,45
11	127,0	4553,2	2245,2	15415,8	157,3	11184,4	0,50
12	150,8	5208,4	2685,1	20055,9	302,7	13845,6	0,49
13	0,4	108,9	137,3	552,3	3,6	390,8	0,49
14	171,8	5626,4	4279,6	23976,9	364,6	16713,3	0,49

Legenda: A – Áreas com corpos d'água (km²); B – Matas Naturais e/ou Silvicultura (km²); C – Pastagem (km²); D – Agricultura (km²); E – Áreas Urbanas (km²); F – Superfície Reduzida Total (km²); G – Índice de Proteção Total (adimensional).

Considerando-se que o índice de proteção não está relacionado com a semelhança botânica entre as espécies originais e atuais, mas refere-se às características de densidade da cobertura vegetal (BELTRAME, 1994), foram agrupadas as formações florísticas que apresentaram o mesmo índice de proteção ao solo para um mesmo tipo de uso.

O resultado comparativo do índice de proteção da cobertura atual aplicado à bacia do rio Ivaí por sub-bacia para os anos de 1986, 2000 e 2011 podem ser visualizados na FIGURA 16 e TABELA 17.

Das sub-bacias ao longo do rio Ivaí para o ano de 1986 (TABELA 17), três apresentaram baixa proteção em relação à cobertura atual (sub-bacias 9, 10 e 13). As demais sub-bacias apresentaram índices dentro da média, com proteção (CA₂), com índices variando de 0,51 (sub-bacia 7) a 0,58 (sub-bacia 3).

Em relação ao ano 2000, oito sub-bacias ao longo do rio Ivaí apresentaram baixa proteção em relação à cobertura atual, com índices variando de 0,45 (sub-bacia 9) a 0,49 (sub-bacias 5, 8 e 14). No geral, isto significa piora se relacionado ao ano de 1986, que apresentou apenas três índices na mesma condição. Os demais índices se apresentaram na condição de média proteção do solo em relação à cobertura atual, um nível acima.

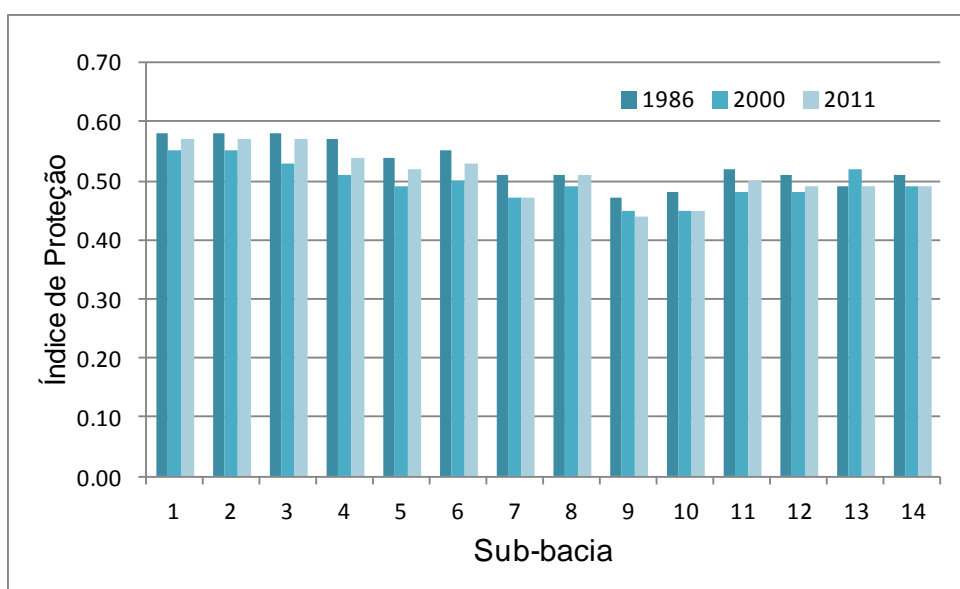


FIGURA 16 – DADOS COMPARATIVOS DO ÍNDICE DE PROTEÇÃO TOTAL POR SUB-BACIA (1986, 2000, 2011).

Do total de sub-bacias, seis apresentaram queda em seus índices, sendo a 5, 7, 8, 11, 12 e 14, a ponto de mudarem da condição de média proteção para baixa

proteção. Apenas a sub-bacia 13 apresentou melhora, com elevação no índice a ponto de sair da condição de baixa para média proteção em relação à cobertura atual.

TABELA 17. PARÂMETRO CA POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ REFERENTE AOS ANOS DE 1986, 2000 E 2011.

Sub-Bacia	Ano		
	1986	2000	2011
1	CA ₂	CA ₂	CA ₂
2	CA ₂	CA ₂	CA ₂
3	CA ₂	CA ₂	CA ₂
4	CA ₂	CA ₂	CA ₂
5	CA ₂	CA ₃	CA ₂
6	CA ₂	CA ₂	CA ₂
7	CA ₂	CA ₃	CA ₃
8	CA ₂	CA ₃	CA ₂
9	CA ₃	CA ₃	CA ₃
10	CA ₃	CA ₃	CA ₃
11	CA ₂	CA ₃	CA ₂
12	CA ₂	CA ₃	CA ₃
13	CA ₃	CA ₂	CA ₃
14	CA ₂	CA ₃	CA ₃

Legenda: CA₂ - Média proteção; CA₃ - Baixa proteção.

No que se refere ao ano de 2011, houve seis sub-bacias que apresentaram baixa proteção em relação à cobertura atual (sub-bacias 7, 9, 10, 12, 13 e 14), com índices entre 0,44 e 0,49. As demais sub-bacias apresentaram índices variando de 0,50 (sub-bacia 11) a 0,57 (sub-bacias 1, 2 e 3), apresentando média proteção em relação à cobertura atual.

Comparando com o ano de 2000 houve leve melhora no índice, pois duas sub-bacias saíram da condição de baixa para média proteção (sub-bacias 5, 8 e 11). No entanto, a sub-bacia 13 apresentou piora no índice, saindo da condição de média proteção e voltando a condição que dispunha em 1986, de baixa proteção do solo em relação à cobertura atual.

5.1.3 Cobertura Vegetal Original – Parâmetro CO

A classificação da CO para os anos de 1986, 2000 e 2011 (FIGURAS 17, 18 e 19) foram realizadas a fim de confrontar com o levantamento de unidades fitogeográficas da bacia do rio Ivaí (FIGURA 11).

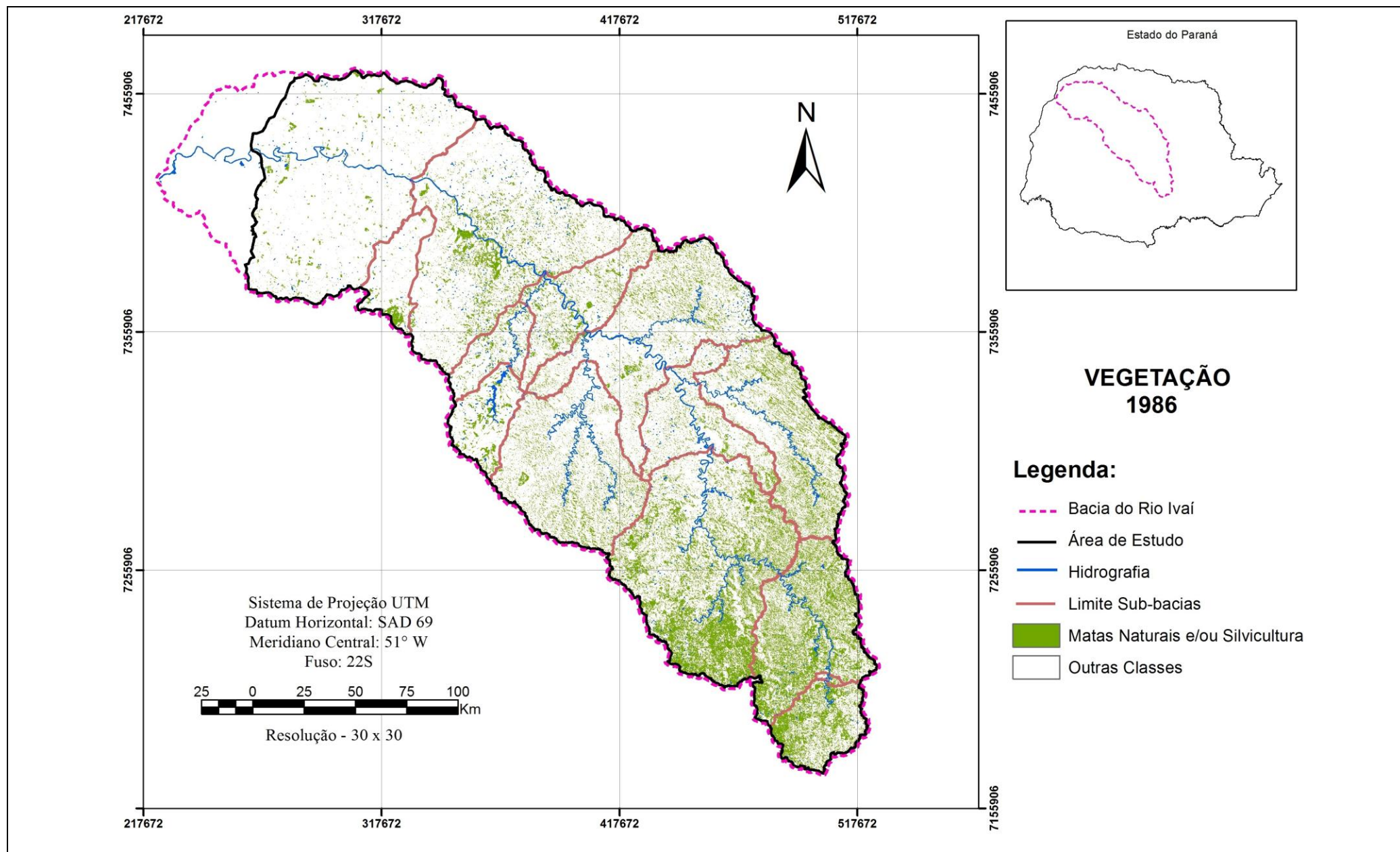


FIGURA 17 – SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR, REFERENTE AO ANO DE 1986.

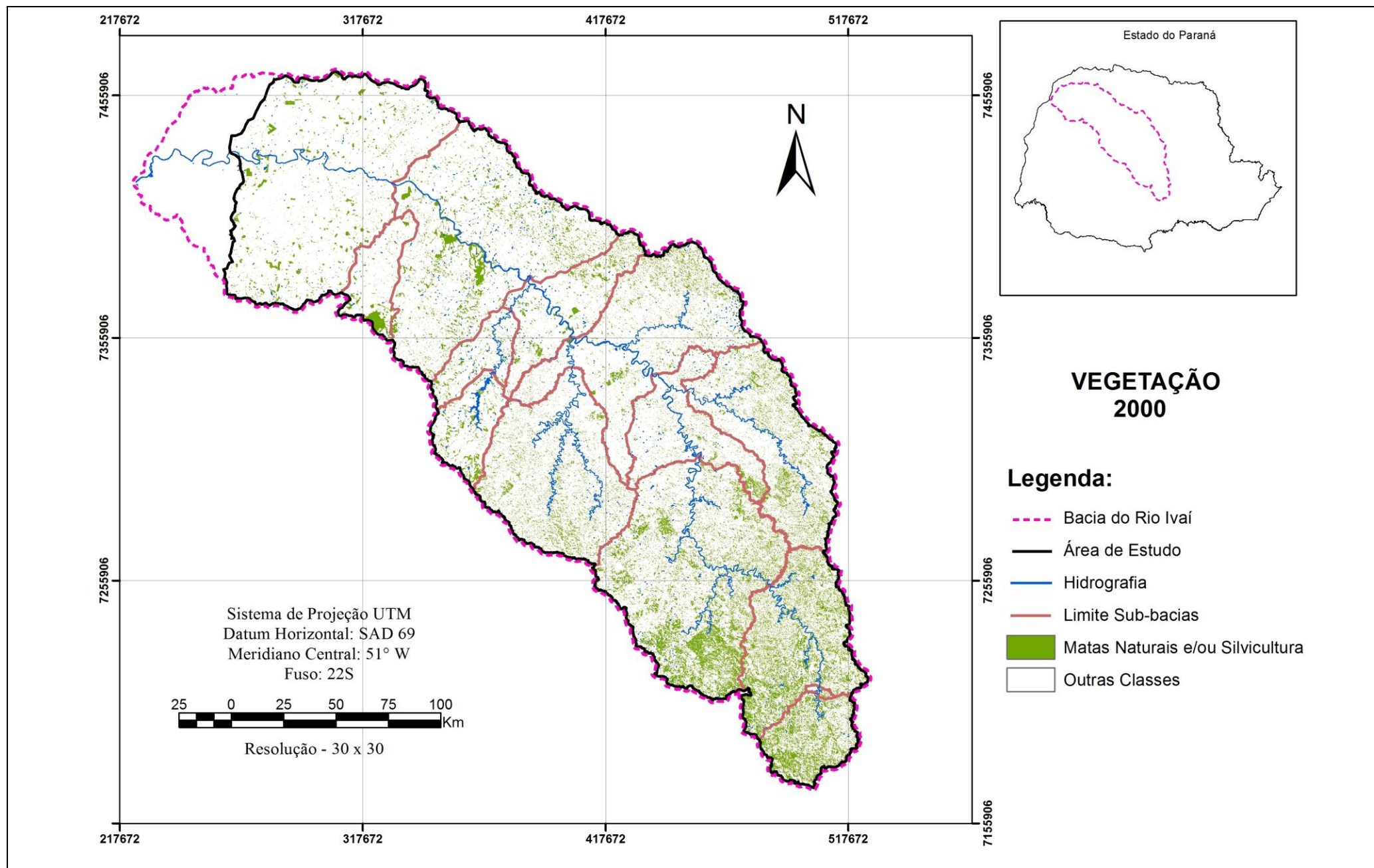


FIGURA 18 – SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR, REFERENTE AO ANO DE 2000.

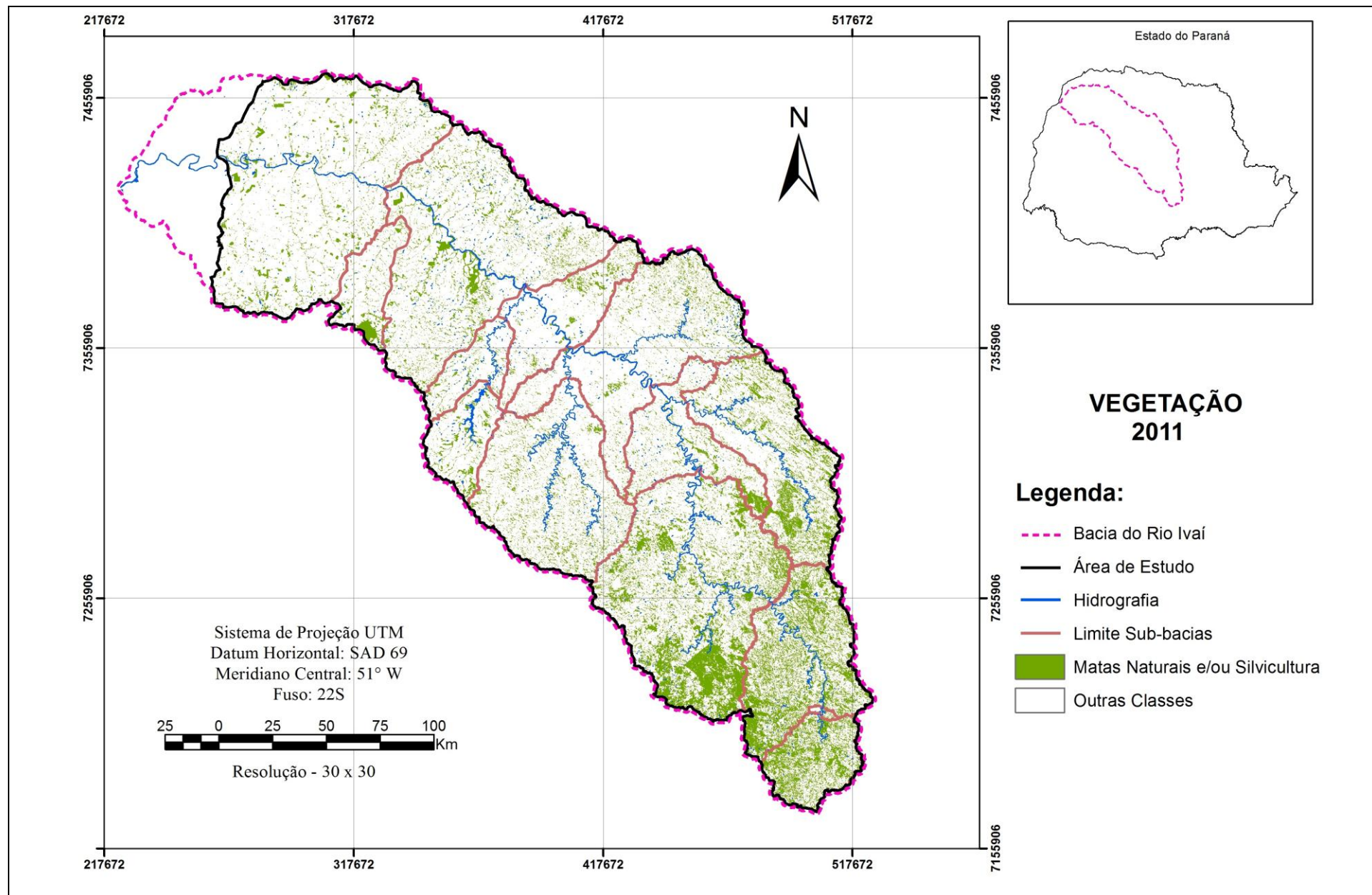


FIGURA 19 – SITUAÇÃO DA VEGETAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR, REFERENTE AO ANO DE 2011.

O grau de semelhança atribuído refere-se à densidade da cobertura vegetal de matas naturais e/ou silvicultura, e não à semelhança botânica entre as espécies na sua multitemporalidade. A TABELA 18 contém a área dos anos de 1986, 2000 e 2011, respectivamente, cobertas por Matas Naturais e/ou Silvicultura em cada uma das sub-bacias, a partir do mapa de uso e cobertura da terra.

TABELA 18. PARÂMETRO CO POR SUB-BACIA DA BACIA DO RIO IVAÍ - PR – ANOS DE 1986, 2000 E 2011.

ANO	1986		2000		2011	
SUB-BACIA	% SETOR	ÍNDICE	% SETOR	ÍNDICE	% SETOR	ÍNDICE
1	43.2	CO ₃	36.1	CO ₄	43.1	CO ₃
2	42.9	CO ₃	35.7	CO ₄	42.5	CO ₃
3	43.4	CO ₃	32.1	CO ₄	40.6	CO ₄
4	37.9	CO ₄	25.9	CO ₄	34.3	CO ₄
5	22.4	CO ₄	13.9	CO ₅	22.0	CO ₄
6	31.5	CO ₄	21.2	CO ₄	29.0	CO ₄
7	13.1	CO ₅	9.3	CO ₅	10.1	CO ₅
8	13.1	CO ₅	16.8	CO ₅	22.1	CO ₄
9	12.2	CO ₅	9.0	CO ₅	9.7	CO ₅
10	13.1	CO ₅	10.7	CO ₅	11.6	CO ₅
11	23.4	CO ₄	15.8	CO ₅	20.2	CO ₅
12	20.7	CO ₅	14.4	CO ₅	18.3	CO ₅
13	7.9	CO ₅	11.0	CO ₅	13.6	CO ₅
14	17.5	CO ₅	12.6	CO ₅	16.3	CO ₅

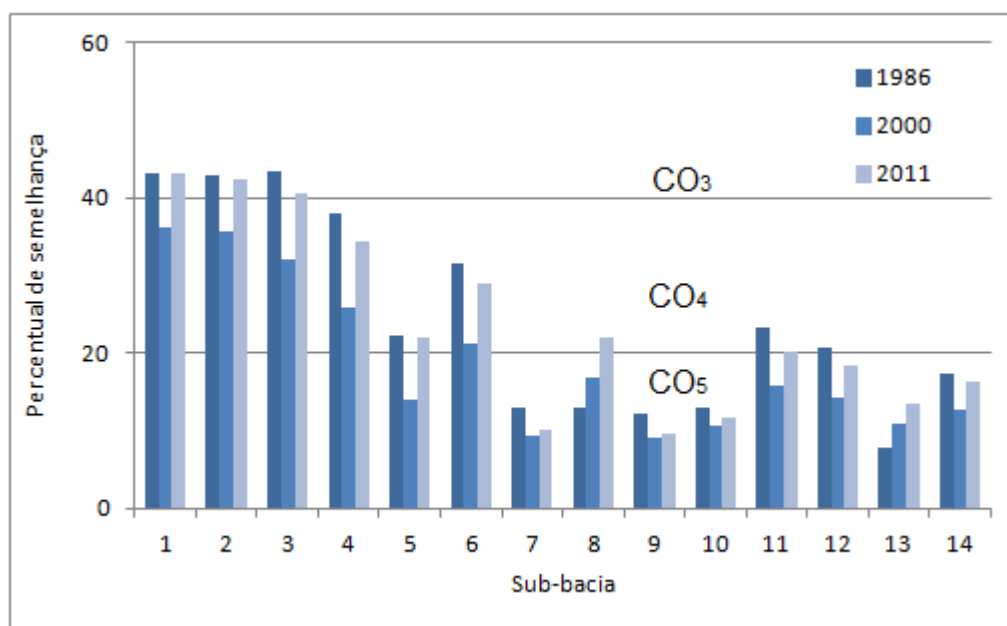
Legenda: Grau de semelhança: Nenhuma – CO₅; Baixa – CO₄; Média – CO₃.

Para apresentação dos resultados de forma clara, tanto quantitativa como qualitativamente, optou-se pela elaboração da matriz de semelhança. A matriz mensura a área vegetacional e o tipo que a substituiu em cada período multitemporal (referente aos anos de 1986, 2000 e 2011). Assim, na TABELA 18 estão apresentados os resultados do grau de semelhança entre a cobertura vegetal original para as sub-bacias 1 a 14 referentes à área da pesquisa.

O grau de semelhança de todas as sub-bacias nos três períodos analisados, em sua maioria apresentou-se baixa a nenhuma semelhança. A vegetação original encontra-se bastante descaracterizada, principalmente pelas atividades agropecuárias.

Devido à importância ambiental a região do rio Ivaí foi considerada estratégica para a conservação e recuperação da biodiversidade do Paraná. A importância foi reconhecida na Resolução Conjunta SEMA/IAP nº005/2009 de 29 de setembro de 2009 (PARANÁ, 2009).

De acordo com IPARDES (2007), das tipologias representativas da cobertura vegetal original da bacia do rio Ivaí que representavam 99,45% da área total da bacia (70,26% com Floresta Estacional Semidecidual, 29,19% com a Floresta Ombrófila Mista), passaram a representar 6,41% de sua área total em 1980. Entre 2001 e 2002 teve-se um pequeno acréscimo da ocupação do solo com vegetação, subindo para 7,62%. A melhora não foi refletida intensamente em 2000, relacionada a 1986, no sentido de aumento dos índices, pois 5 sub-bacias apresentaram piora no quadro vegetacional no período (sub-bacias 1, 2, 3, 5 e 11), como pode ser visualizado na FIGURA 20. Embora nenhuma sub-bacia tenha apresentado melhora, o que se pode notar de positivo é o fato de que as demais sub-bacias mantiveram seus índices no período (TABELA 18; FIGURA 20).



Legenda: Grau de semelhança: Nenhuma = CO₅; Baixa = CO₄; Média = CO₃.

FIGURA 20 – DADOS COMPARATIVOS DO PERCENTUAL DE SEMELHANÇA EM RELAÇÃO À COBERTURA VEGETAL ORIGINAL POR SUB-BACIA (1986, 2000, 2011).

Comparando a cobertura vegetal de 2011 com 2000 o quadro é bem mais positivo, e 5 sub-bacias apresentaram melhora no índice de semelhança da cobertura original (sub-bacias 1, 2, 5 e 8). Nenhuma sub-bacia apresentou piora e todas as demais sub-bacias mantiveram seus índices no período (TABELA 18).

Os resultados estão de acordo com Campos (2013), referente à análise temporal da vegetação nativa em trechos da bacia do rio Ivaí. Verificou-se incremento substancial da vegetação protetora da rede hídrica entre os anos

estudados (1970 e 2010), devido à vigência da nova legislação sobre a vegetação nativa.

5.1.4 Declividade média – Parâmetro DM

A declividade da bacia é um parâmetro importante pois está diretamente associada ao tempo de duração do escoamento superficial e concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. Logo, a declividade afeta a forma e os valores máximos do hidrograma de escoamento na bacia.

A associação dos resultados da declividade mapeada (FIGURA 21) com as classes de declividade permitiram a obtenção da classificação da declividade média por sub-bacia (TABELA 19).

TABELA 19. PARÂMETRO DM POR SUB-BACIA - BACIA DO RIO IVAÍ

SUB-BACIA	DM	ÍNDICE	RELEVO
1	10,00	DM_2	Ondulado
2	10,00	DM_2	Ondulado
3	12,21	DM_2	Ondulado
4	12,20	DM_2	Ondulado
5	14,58	DM_2	Ondulado
6	12,66	DM_2	Ondulado
7	14,17	DM_2	Ondulado
8	12,56	DM_2	Ondulado
9	7,07	DM_1	Suave Ondulado
10	6,85	DM_1	Suave Ondulado
11	11,92	DM_2	Ondulado
12	10,65	DM_2	Ondulado
13	5,88	DM_1	Suave Ondulado
14	9,64	DM_2	Ondulado

Legenda: DM – declividade média.

Apenas as sub-bacias 9, 10 e 13 apresentaram relevo suave ondulado (TABELA 19); as demais apresentaram relevo ondulado, com maiores percentuais médios de declive. De acordo com as informações numéricas, a sub-bacia que apresentou menor índice foi a 13 com 5,88 de declividade média e a maior a sub-bacia 5, com valor de 14,58. As duas sub-bacias não consideram outras sub-bacias em suas delimitações (FIGURA 12).

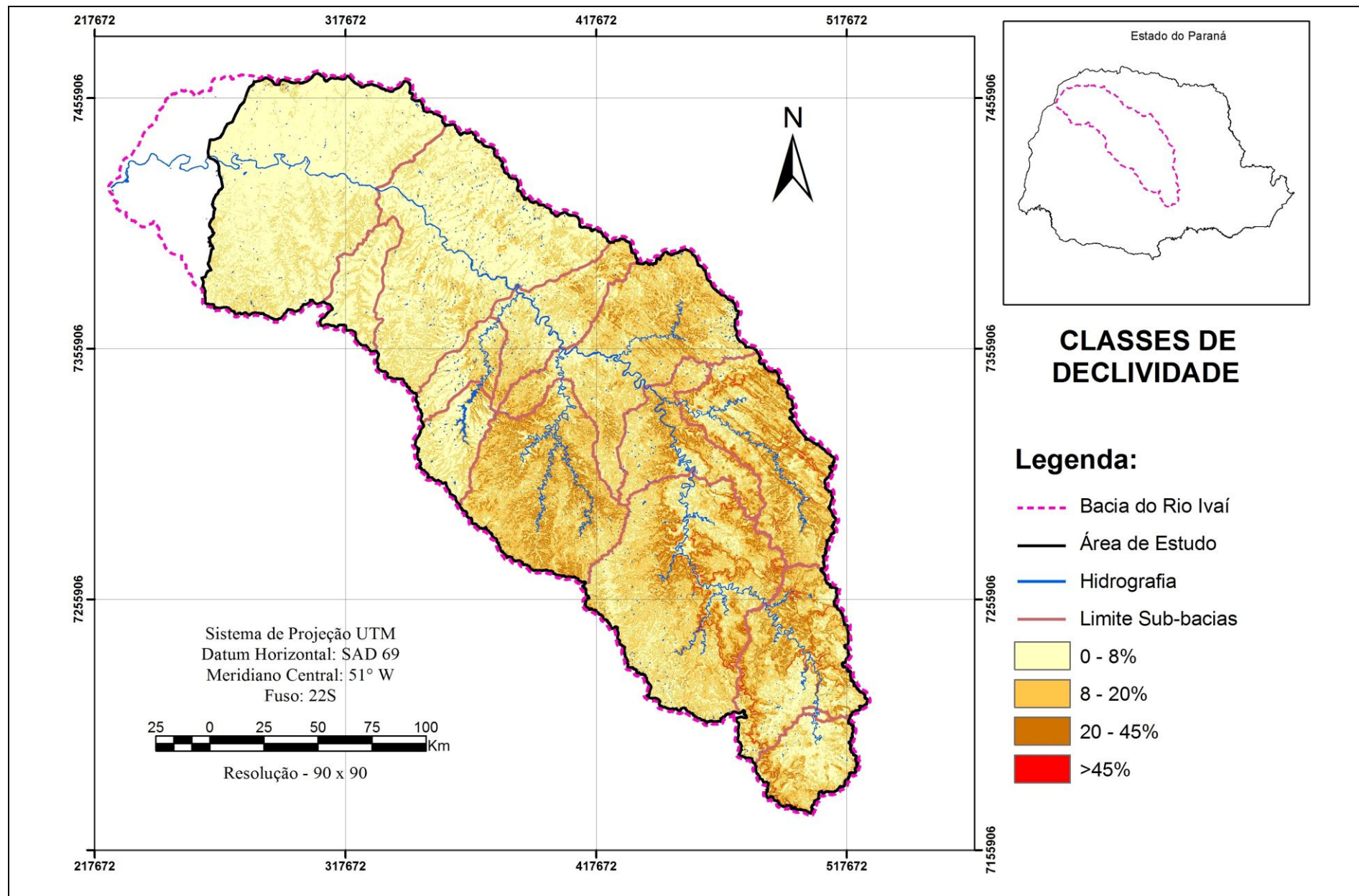


FIGURA 21 – DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR. FONTE: SRTM, 2003; ORG.: SOARES, M., 2014.

5.1.5 Erosividade da precipitação – Parâmetro E

Na FIGURA 22 estão dispostos os postos de monitoramento de precipitação e os resultados da elaboração automática dos polígonos de *Thiessen* da área de estudo, para a determinação da média de chuvas das sub-bacias hidrográficas. As informações sobre os postos pluviométricos estão apresentados no ANEXO 1.

A sub-bacia 10 (1776,3 mm) apresentou maior média de ocorrência de precipitação (TABELA 20). A menor média ocorreu na sub-bacia 13 (1534,1 mm), com amplitude média de 242,2 mm.

A erosividade da precipitação mede o potencial do solo à erosão com a ação dos eventos pluviométricos (precipitação). Carvalho (2004) considera que os mecanismos de erosão hídrica, ocorrem da ação das gotas de chuva e a atuação dos processos hidrológicos de superfície e subsuperfície. A erosão depende das relações existentes entre a capacidade erosiva da chuva e os fluxos de superfície e subsuperfície, assim como da suscetibilidade dos materiais a serem erodidos.

TABELA 20. EROSIVIDADE DA PRECIPITAÇÃO POR SUB-BACIA - RIO IVAÍ – PR.

SUB-BACIA	PLUVIOSIDADE (mm)	EROSIVIDADE (MJ mm ha ⁻¹ ano ⁻¹)	SÍMBOLO E ÍNDICE
1	1725,2	702,64	E_2
2	1725,7	695,03	E_2
3	1701,9	695,57	E_2
4	1720,8	702,55	E_2
5	1665,0	701,43	E_2
6	1701,1	697,90	E_2
7	1746,9	720,34	E_2
8	1691,8	695,31	E_2
9	1689,3	699,55	E_2
10	1776,3	721,80	E_2
11	1683,1	692,74	E_2
12	1650,8	683,39	E_2
13	1534,1	644,06	E_1
14	1613,2	667,36	E_1

Legenda: E_2 – Erosividade média; E_1 – Erosividade baixa.

As sub-bacias 1 a 12 apresentam potencial erosivo moderado (erosividade média) e baixa na sub-bacia 13. A bacia do rio Ivaí, representada pela sub-bacia 14, apresentou baixo potencial erosivo do solo pela ação da chuva (TABELA 20).

Os resultados indicam para a bacia do rio Ivaí que a erosividade causada pela precipitação não apresenta riscos significativos, mas moderados.

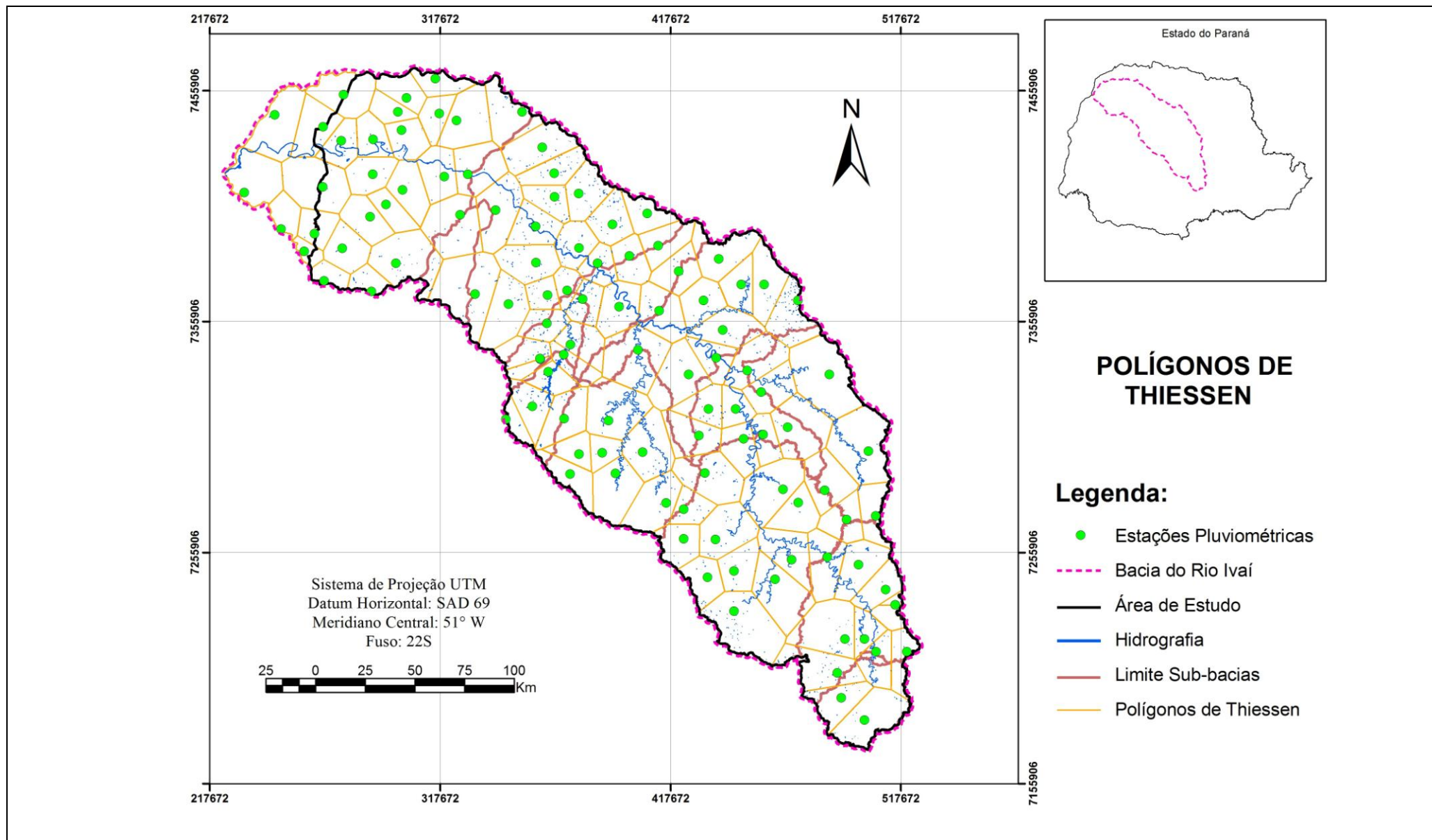


FIGURA 22 – DISTRIBUIÇÃO DOS POSTOS DE MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO RIO IVAÍ E OS POLÍGONOS DE THIESSEN.

5.1.6 Potencial erosivo dos solos – Parâmetro PE

O parâmetro PE indica a vulnerabilidade do solo à erosão. O solo apresenta diversas características que evidencia a sua maior ou menor suscetibilidade a erosão na mesma área. Os resultados dos índices totais do potencial erosivo dos solos para as sub-bacias 1 a 14 encontram-se dispostos na TABELA 21.

Carvalho (2004) considera que a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases, sendo a primeira constituída pela remoção de partículas e a segunda referente ao transporte do material. As pesquisas sobre a erosão do solo consideram geralmente como fatores controladores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos (como textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e *pH* do solo), cobertura vegetal e características das encostas.

TABELA 21. CÁLCULO DO POTENCIAL EROSIVO POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ (PR).

PE SUB-BACIA	A	B	C	D	E
1	1054,1	45,1	0,0428	Alto a moderado	3
2	1089,6	45,9	0,0421	Alto a moderado	3
3	3566,5	179,5	0,0503	Alto a moderado	3
4	8545,2	406,2	0,0475	Alto a moderado	3
5	2611,9	156,3	0,0598	Alto a moderado	3
6	12703,8	635,6	0,0500	Alto a moderado	3
7	3277,1	169,0	0,0516	Alto a moderado	3
8	19436,1	942,5	0,0485	Alto a moderado	3
9	1553,3	41,1	0,0265	Moderado	2
10	854,2	22,1	0,0259	Moderado	2
11	22498,5	1034,2	0,0460	Alto a moderado	3
12	28403,1	1173,2	0,0413	Alto a moderado	3
13	802,5	23,0	0,0286	Moderado	2
14	34419,3	1352,7	0,0393	Alto a moderado	3

Legenda: A - Área (km²); B - Superfície Reduzida (km²); C - Índice (adimensional); D - Classificação; E - Peso do Índice do Parâmetro (adimensional).

Para a descrição das classes do potencial erosivo da bacia, em que estão incluídas informações dos resultados obtidos a partir da elaboração da matriz e de considerações quanto à geomorfologia, geologia, hipsometria e recomendações de

uso geral, as classes intermediárias foram agrupadas considerando-se uma variação para cima na coluna do potencial erosivo, com ênfase na declividade (FIGURA 23).

Classe 1 - Solos com baixo potencial erosivo: Latossolos (LBd; LVd; LVdf; LVe; LVef), Nitossolos (NBa; NBd; NVdf; NVef), Gleissolos (GM; GX) e Organossolos (OX) associados a áreas com relevo suave ondulado, declividade nunca superior a 8%, estão presentes principalmente nas sub-bacias mais à montante (sub-bacias 1, 2 e 3), e na parte central a foz da bacia do Ivaí (sub-bacias 11, 12 e 13), onde as altitudes da bacia hidrográfica são menores. As áreas aparecem nos fundos de vales e se estendem seguindo o leito do rio principal por quase toda sua extensão e de alguns de seus afluentes de maior expressão. A classe corresponde a aproximadamente 11.000 km², equivalendo a 32% da área total da bacia do rio Ivaí. Ocorre em áreas da Formação Teresina, Formação Serra Geral e Formação Caiuá. Embora os solos ocorram em áreas de baixa declividade, em algumas situações não são recomendáveis às culturas agrícolas, quando mal drenados e com a presença de várzeas e banhados (Gleissolos), impedindo o uso de equipamentos. Nas áreas onde ocorre o Latossolo as áreas são adequadas à agricultura, e se eventualmente ocorrer erosão pelo uso intensivo, a mesma pode ser controlada com práticas simples no manejo (cultivo em curvas de nível, rotação de culturas, plantio direto, etc.).

Classe 2 - Solos com baixo a moderado potencial erosivo: Argissolos (PVAd; PVd; PVe); Cambissolos (CHa; CXbd); Latossolos (LVd; LVdf; LVef); Nitossolos (NBa; NVef), Gleissolos (GX); Neossolos (RRd; RRdh; RRe; RLdh; RYbd; RYq) e Organossolos (OX) associados a áreas com relevo ondulado, declividade variando entre 8 a 20%. Ocorrem com maior frequência nas bases e nas meias encostas, mas apresentam pequenas áreas em topos de morros mais suaves. Corresponde a área de 12.855 km², o que representa 37% da área total da bacia do rio Ivaí, presente em praticamente toda a bacia com suas sub-bacias, por ser a classe de maior expressividade. Ocorrem praticamente em todas as ocorrências geológicas da área de estudo de modo uniforme. Os Latossolos são muito profundos, friáveis, muito porosos, acentuadamente drenados e de coloração variável. Os Nitossolos são profundos, argilosos, porosos, bem drenados, de coloração avermelhada. As áreas com estas características, podem ser exploradas, pode-se utilizá-las para culturas anuais, desde que sejam aplicadas práticas de manejo e de conservação do solo

(plantio em nível, terraceamento, plantio direto, etc.), e respeitando os limites das áreas de preservação permanente.

Classe 3 - Solos com moderado a alto potencial erosivo: Argissolos (PVAd; PVd; PVe); Cambissolos (CHa; CXbd); Latossolos (LBd; LVd; LVdf; LVef); Nitossolos (NVef; NVdf); e Neossolos (RRe; RLdh) associados a áreas com relevo ondulado a forte ondulado, presentes nos topos mais declivosos e comumente no terço superior das encostas, com declividade bem diversificada, mas superior a 20%. Em sua grande maioria estão sobrepostos ao embasamento geológico Formação Rio do Rasto. A classe ocupa 7.700 km² ou 22% da área total da bacia, ocorre mais significativamente nas sub-bacia 3, 4 e 5, onde as altitudes são maiores. Pelas suas características, são áreas não recomendadas ao uso agrícola devido à alta suscetibilidade à erosão, com fortes restrições ao uso de maneira geral, podendo ser utilizadas para reflorestamento com exploração seletiva no médio curso da bacia; no alto curso, entretanto, estas áreas devem ser destinadas à preservação ambiental permanente.

Classe 4 - Solos com alto a muito alto potencial erosivo: Argissolo (PVAd); Cambissolos (CHa; CXbd); Nitossolo (NBa); e Neossolos (RLdh; RRd; RRdh; RRe) associados a áreas com relevo montanhoso a escarpado, com declividade sempre acima de 20% e nas encostas mais íngremes da bacia hidrográfica é comum superar a 45%. A classe ocupa 2.858 km² ou 9% da área total da bacia, ocorrendo mais significativamente nas sub-bacias 3, 4, 5, 6 e 7, especialmente na pequena área embasada pela Formação Piramboia e Botucatu. É abrangido da parte central ao alto da bacia do rio Ivaí, com predominância dos solos frágeis, sem estrutura de suporte para utilização agrícola, devendo ser preservados, principalmente por estarem relacionados a altas declividades.

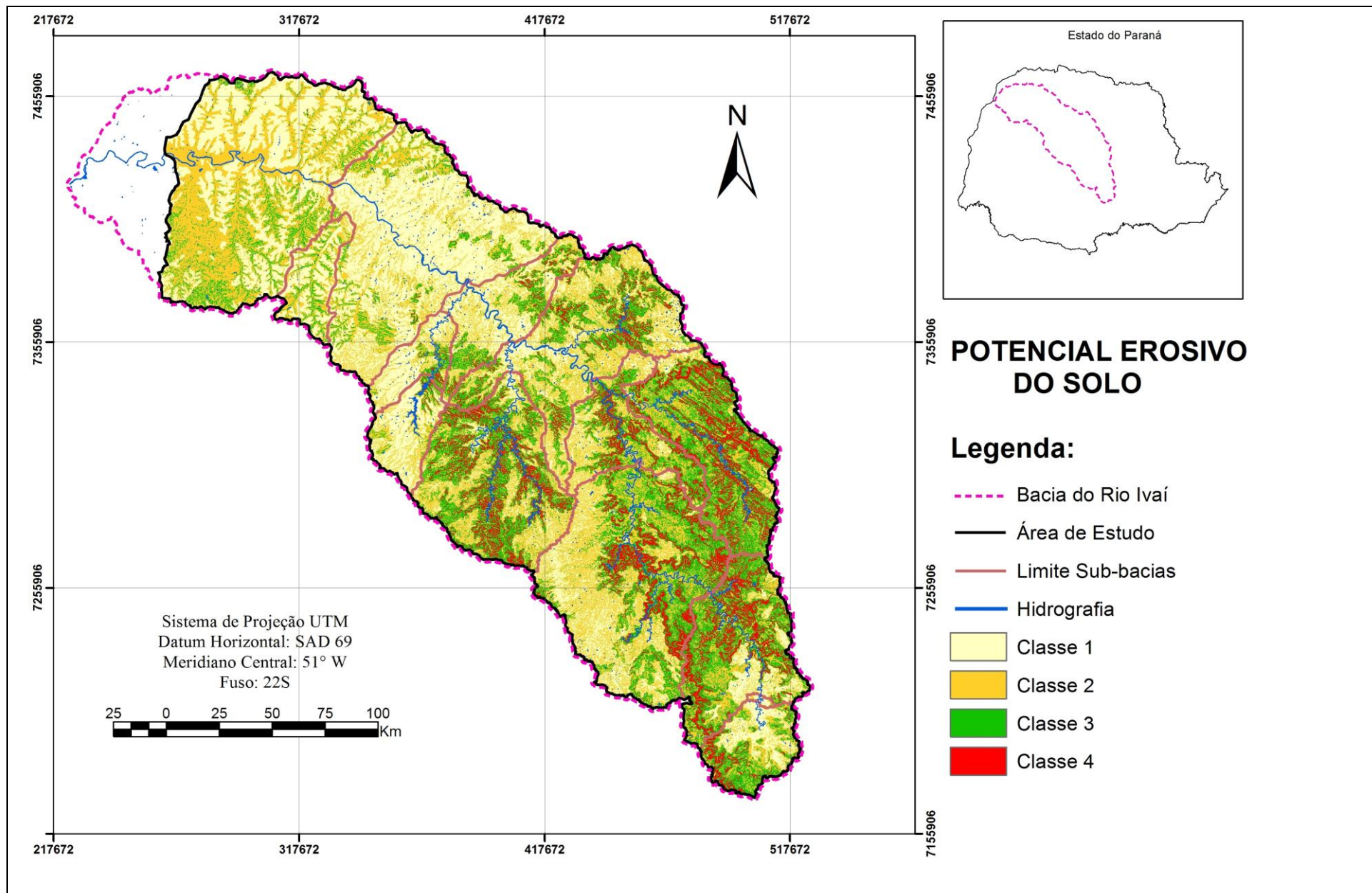


FIGURA 23 – POTENCIAL EROSIVO DO SOLO – BACIA DO RIO IVAÍ – PR. ADAPTADO DE: SRTM, 2003; EMBRAPA, 2008. ORG.: SOARES, M., 2014.

5.1.7 Densidade de drenagem – Parâmetro DD

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Para Christofolletti (1980) indica o comportamento hidrológico das rochas em um mesmo ambiente climático. Nas rochas onde a infiltração é baixa, há melhores condições para o escoamento superficial, gerando possibilidade para a esculturação de canais, caracterizando elevada densidade de drenagem.

A densidade de drenagem segundo Villela; Mattos (1975) é boa indicadora do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem, pois varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece indicação da eficiência da drenagem da bacia.

A sub-bacia 5 apresentou maior DD, classificada como Muito Alta (TABELA 22). A sub-bacia envolve as classes geológicas da Formação Teresina, onde se alternam argilitos, folhelhos e siltitos de cor cinza médio esverdeada, frequentes níveis de sílex e calcários esbranquiçados; Formação Serra Alta com lamitos e folhelhos cinza escuro a esverdeado; Formação Palermo com siltitos cinzentos, predominantemente bioturbados e laminações inclinadas e; Formação Serra Geral com as soleiras de diabásio.

As sub-bacias 1 a 4, 6, 11, 12 e 14 apresentaram DD Alta e as demais sub-bacias (7, 9, 10 e 13) apresentaram DD mediana. No geral (sub-bacia 14) a bacia do rio Ivaí apresenta DD alta (TABELA 22).

TABELA 22. PARÂMETRO DD POR SUB-BACIA - BACIA DO RIO IVAÍ

SUB-BACIA	DD (km/km ²)	ÍNDICE	QUALIFICAÇÃO
1	2,50	DD ₃	Alta
2	2,51	DD ₃	Alta
3	3,32	DD ₃	Alta
4	3,22	DD ₃	Alta
5	4,23	DD ₄	Muito alta
6	3,32	DD ₃	Alta
7	1,86	DD ₂	Mediana
8	2,83	DD ₃	Alta
9	1,11	DD ₂	Mediana
10	1,00	DD ₂	Mediana
11	2,63	DD ₃	Alta
12	2,28	DD ₃	Alta
13	0,85	DD ₂	Mediana
14	2,06	DD ₃	Alta

Legenda: DD – densidade de drenagem.

5.1.8 Balanço hídrico – Parâmetro BH

De acordo com Beltrame (1994), o balanço hídrico é muito importante nesta análise, pois é considerado um indicador do potencial natural de degradação ou conservação física da bacia. Se houver desequilíbrios na relação de entrada e saída da água, podem ocorrer danos irreversíveis aos recursos naturais.

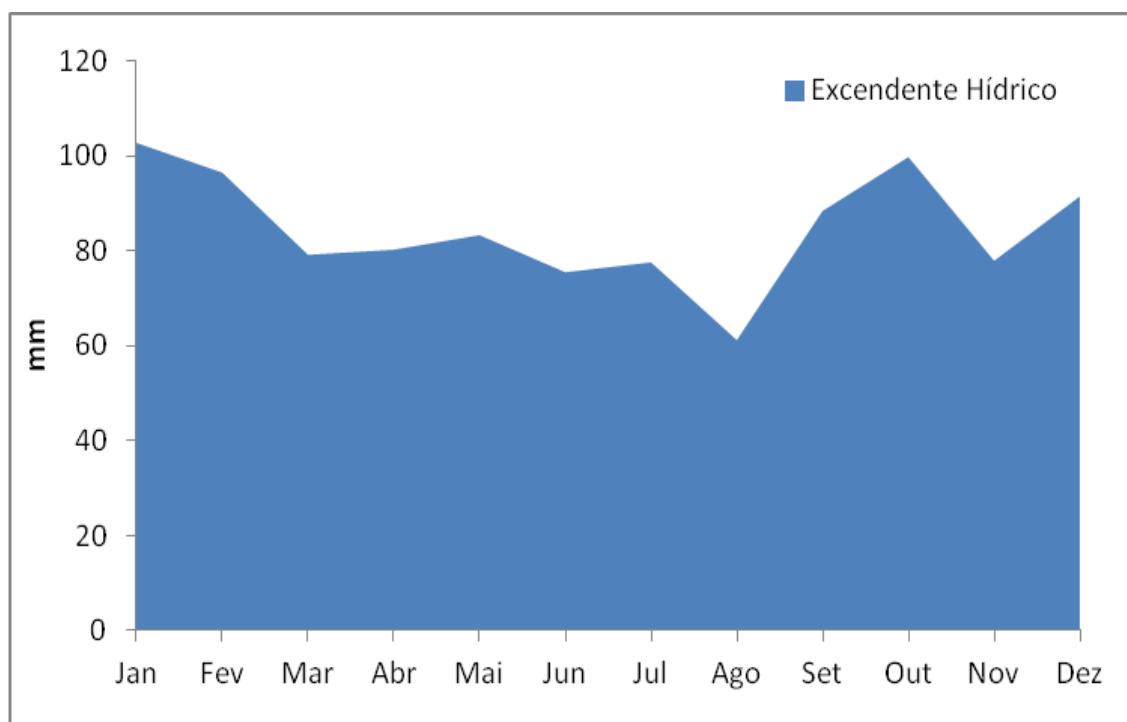


FIGURA 24 – EXCEDENTE HÍDRICO DA BACIA DO RIO IVAÍ, 1985 – 2012.

O déficit hídrico, que corresponde à subtração da evapotranspiração com a precipitação, indica a duração e a época da estação seca (BELTRAME, 1994). A bacia do rio Ivaí apresenta apenas excedente hídrico ou deflúvio (FIGURA 24), com total anual geral de 619,2 mm (TABELA 23), qualificado como índice médio (representado pela sub-bacia 14). As sub-bacias 1 e 2 foram as que apresentaram maiores índices de BH, com excedentes de 873,59 e 839,59 mm, respectivamente, qualificados como BH alto, de acordo com o método.

As demais sub-bacias apresentaram médios índices de BH, com excedentes variando entre 547,80 mm (sub-bacia 13) e 770,59 mm (sub-bacia 4) (TABELA 23).

TABELA 23. PARÂMETRO BH POR SUB-BACIA – BACIA DO RIO IVAÍ.

SUB-BACIA	CHUVA (mm)	EVAPOTRANS-PIRAÇÃO (mm)	DEFLÚVIO (mm)	ÍNDICE	QUALIFICAÇÃO
1	1725,2	852	873,2	BH ₂	Alto
2	1725,7	887	838,7	BH ₂	Alto
3	1701,9	974	727,9	BH ₃	Médio
4	1720,8	950	770,8	BH ₃	Médio
5	1665,0	1007	658,0	BH ₃	Médio
6	1701,1	990	711,1	BH ₃	Médio
7	1746,9	1008	738,9	BH ₃	Médio
8	1691,8	953	738,8	BH ₃	Médio
9	1689,3	994	695,3	BH ₃	Médio
10	1776,3	1048	728,3	BH ₃	Médio
11	1683,1	970	713,1	BH ₃	Médio
12	1650,8	1014	636,8	BH ₃	Médio
13	1534,1	986	548,1	BH ₃	Médio
14	1613,2	994	619,2	BH ₃	Médio

Legenda: BH – balanço hídrico.

5.1.8 Cálculo do valor do processo de degradação

A síntese dos parâmetros dos fatores potenciais de degradação dos recursos naturais do DFC, referente aos anos de 1986, 2000 e 2011, respectivamente, encontra-se apresentados na TABELA 24.

TABELA 24. RESUMO DOS PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO DFC – 1986, 2000 E 2011.

SUB-BACIA	ANO 1986							Σ	ANO 2000							Σ	ANO 2011							Σ
1	CA ₂	CO ₃	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	17	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	18	CA ₂	CO ₃	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	17
2	CA ₂	CO ₃	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	17	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	18	CA ₂	CO ₃	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₂	17
3	CA ₂	CO ₃	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	18	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19
4	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19
5	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₄	BH ₃	20	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₄	BH ₃	22	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₄	BH ₃	20
6	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19
7	CA ₂	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₂	BH ₃	19	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₂	BH ₃	20	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₂	BH ₃	20
8	CA ₂	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	20	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	21	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19
9	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18
10	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₂	PE ₂	DD ₂	BH ₃	18
11	CA ₂	CO ₄	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	21	CA ₂	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	20
12	CA ₂	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	20	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	21	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₂	PE ₃	DD ₃	BH ₃	21
13	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₁	PE ₂	DD ₂	BH ₃	17	CA ₂	CO ₅	DM ₁	E ₁	PE ₂	DD ₂	BH ₃	16	CA ₃	CO ₅	DM ₁	E ₁	PE ₂	DD ₂	BH ₃	17
14	CA ₂	CO ₅	DM ₂	E ₁	PE ₃	DD ₃	BH ₃	19	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₁	PE ₃	DD ₃	BH ₃	20	CA ₃	CO ₅	DM ₂	E ₁	PE ₃	DD ₃	BH ₃	20

Legenda: Σ - somatório dos índices dos parâmetros.

Os DFC's e índices percentuais, calculados com a EQUAÇÃO 21 estão apresentados na TABELA 25.

TABELA 25. POTENCIAIS DE DEGRADAÇÃO POR SUB-BACIA – BACIA DO RIO IVAÍ.

Sub-bacia	Ano 1986		Ano 2000		Ano 2011		DFC médio (%)
	<i>E(f)</i>	DFC	<i>E(f)</i>	DFC	<i>E(f)</i>	DFC	
1	17	41,67	18	45,83	17	41,67	43,06
2	17	41,67	18	45,83	17	41,67	43,06
3	18	45,83	19	50,00	19	50,00	48,61
4	19	50,00	19	50,00	19	50,00	50,00
5	20	54,17	22	62,50	20	54,17	56,94
6	19	50,00	19	50,00	19	50,00	50,00
7	19	50,00	20	54,17	20	54,17	52,78
8	20	54,17	21	58,33	19	50,00	54,17
9	18	45,83	18	45,83	18	45,83	45,83
10	18	45,83	18	45,83	18	45,83	45,83
11	19	50,00	21	58,33	20	54,17	54,17
12	20	54,17	21	58,33	21	58,33	56,94
13	17	41,67	16	37,50	17	41,67	40,28
14	19	50,00	20	54,17	20	54,17	52,78

Legenda: *E(f)* – estado físico conservacionista do setor, (*f*) função descritiva, proporcional ao somatório dos índices de cada parâmetro; DFC – diagnóstico físico conservacionista.

As sub-bacias 4, 6, 9 e 10 não apresentaram variações nos resultados para o DFC entre os anos analisados (1986, 2000 e 2011). A amplitude entre as sub-bacias foi de 3 pontos em 1986, 6 em 2000 e 4 em 2011 (TABELA 25 e FIGURA 25).

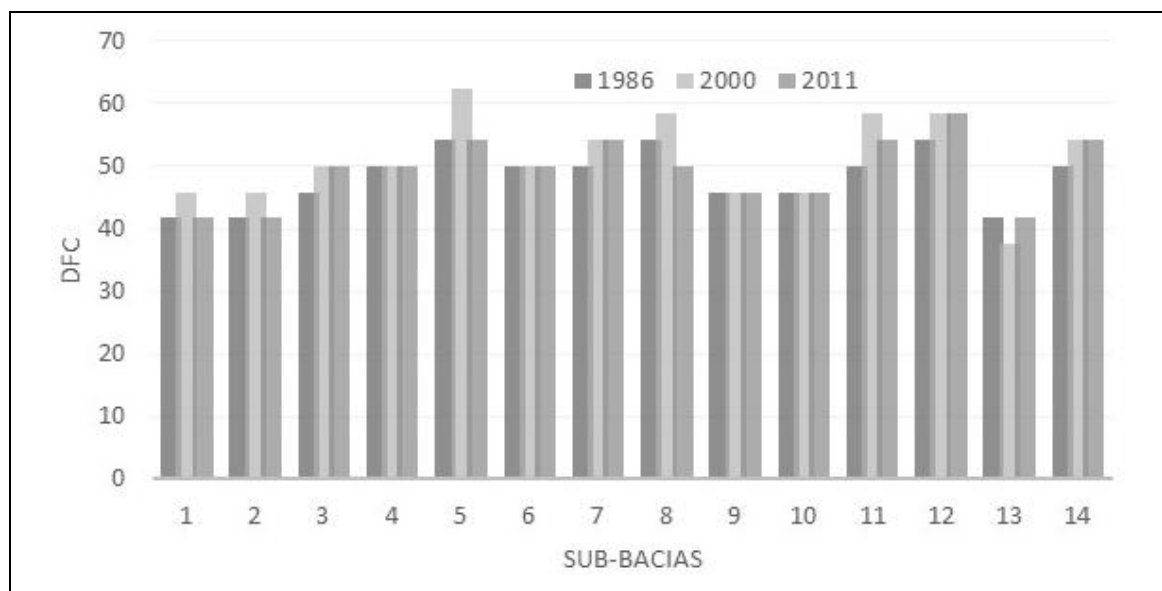


FIGURA 25 – DADOS COMPARATIVOS DO DFC POR SUB-BACIA (1986, 2000, 2011).

As sub-bacias que apresentaram os menores percentuais de degradação foram a 13, 1 e 2. As sub-bacias com maior DFC ou potencial de degradação foi a 5 (destaque principalmente para o ano de 2000), 8, 11 (destaque para o ano de 2000)

e 12 (destaque para os anos de 2000 e 2011). De forma geral, a bacia do rio Ivaí, representada pela sub-bacia 14, apresenta potencial de degradação mediano, com percentual de 54,17% em 2000, aumentando o percentual de degradação em relação a 1986. Os dados foram utilizados para a validação do método, em análises estatísticas realizadas posteriormente.

O ano 2000 foi o que apresentou maior variação no DFC em função da melhora no uso e ocupação do solo, como já mencionada nos resultados dos parâmetros CA e CO. A partir de 1999 áreas de preservação antes ocupadas com agricultura e pastagens foram substituídas por vegetação, devido ao incentivo governamental. Aliado ao fato também houve a conscientização dos produtores rurais ao aplicarem técnicas de manejo no cultivo visando a preservação e conservação do solo nas propriedades. A melhora pode ser observada no comportamento da vazão média, que nas sub-bacias ao longo do rio Ivaí, refletiu melhora com decaimento da curva de escoamento e consequente equilíbrio de cheias. Assim, embora o DFC apresente aumento dos valores quando comparadas as sub-bacias da montante para a jusante, o que se observa na análise temporal é justamente o contrário, devido à aplicação das práticas conservacionistas (FIGURAS 25 e 26).

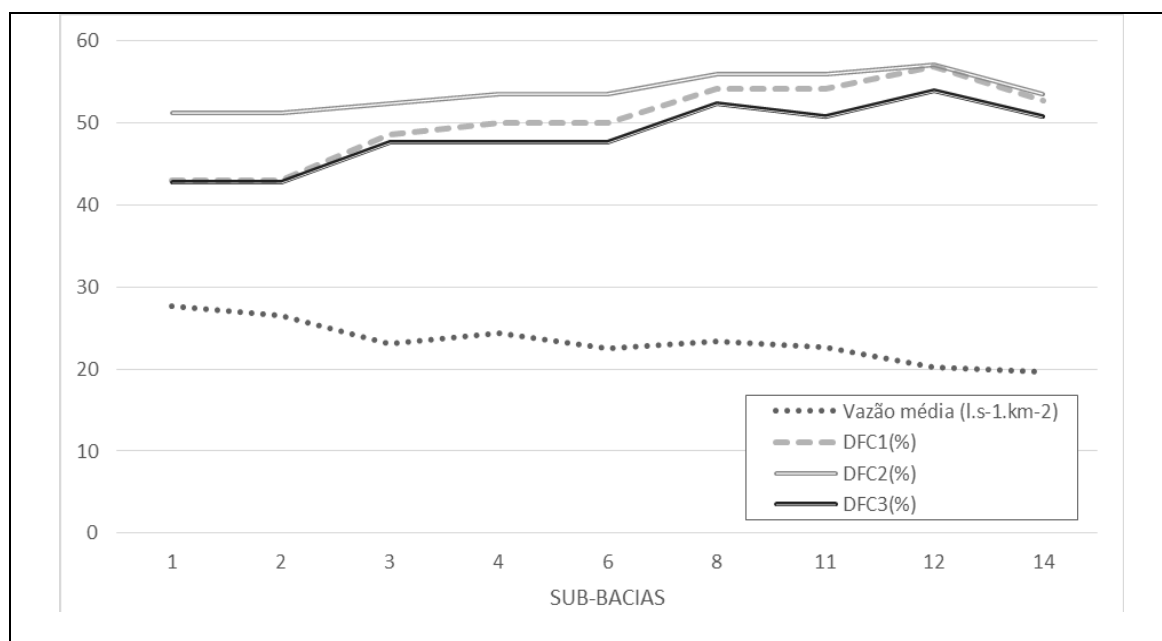


FIGURA 26 – DADOS COMPARATIVOS DO DFC NAS SUB-BACIAS DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO RIO IVAÍ E VAZÃO MÉDIA (DFC1 – DFC PADRÃO; DFC2 – DFC COM TODOS OS SUBÍNDICES IGUAIS A 5; DFC3 – DFC COM TODOS OS SUBÍNDICES IGUAIS A 4).

5.2 ANÁLISE MORFOMÉTRICA POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ – PR

As sub-bacias 5, 6, 3, 4 e 8 foram as que apresentaram maior rede de drenagem, com D_r igual a 9,47, 5,89, 5,35, 5,27 e 4,37 rios·km⁻², respectivamente (TABELA 26). As sub-bacias 11, 12, 14, 2 e 1 podem ser consideradas intermediárias em relação à D_r , quando comparadas às sub-bacias 13, 9 e 10 que apresentaram valores menores do índice. O padrão de drenagem foi dendrítico endorreico, refletindo em parte a geologia da região. E em geral este padrão é observado na presença de rochas com resistência uniforme.

Quanto maior o somatório do comprimento dos canais de drenagem, maior o número de rios e declividade do terreno. Geralmente, quanto maior a declividade do terreno, maior a incidência a tendência de processos erosivos, maior o deflúvio superficial e menor a permeabilidade dos solos de textura fina. A densidade de drenagem tende à zero nas zonas áridas, de topografia plana e solos arenosos, e máxima nas áreas úmidas, montanhosas e impermeáveis (BARBOSA; CARVALHO, 2009).

A densidade de drenagem obtida nas sub-bacias foi considerada alta (acima de 2,0 km·km⁻²), e apenas 4 das 14 apresentaram D_d entre 0,85 e 1,86 (sub-bacias 13, 10, 7 e 9). O resultado é coerente com os solos das nascentes da bacia (Cambissolo e Neossolos). Os solos apresentam maior impermeabilidade em relação aos demais solos da área estudada, principalmente pela associação à alta declividade, dominando o escoamento superficial em relação à infiltração.

Os solos arenosos, associados à baixa declividade e permeáveis, apresentam densidade de drenagem menor e ficaram mais próximas à foz da bacia do rio Ivaí.

Fatores antrópicos como a urbanização e a agricultura podem provocar consideráveis alterações na D_d , principalmente devido à utilização dos recursos hídricos, sugerindo que a disponibilidade de água poderá tornar-se crítica no futuro. Neste sentido, sub-bacias menores (sub-bacias 3, 4, 5 e 6), tendem a apresentar maiores valores de D_d variando de 3 a 4 km·km⁻² (COLLARES, 2000).

[illegible]

Escala 1:50.000

O coeficiente de manutenção (C_m) estabelece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento para que a qualidade hídrica seja mantida em seus valores físicos, químicos e biológicos (SCHUMM, 1956). É considerado um dos índices mais importantes do sistema de drenagem em termos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. No caso da bacia do rio Ivaí, o valor médio de C_m foi igual a $514,82 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$, variando de $236,22 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (sub-bacia 5) a $1170,57 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (sub-bacia 13). Como a densidade de drenagem e de rios foi alta, o valor de C_m encontrado indica que o uso e ocupação da bacia devem ser realizados com restrições. Assim, deve-se considerar os aspectos de fragilidade ambiental e potencial de uso do solo para a utilização adequada dos recursos.

Observou-se correlação linear negativa entre C_m e H_m (altitude média), indicando que as bacias com maior altitude proporcionam condições mais favoráveis à formação de canais, conseqüentemente, menor C_m . Como resultado, a velocidade de escoamento nas sub-bacias 5, 6, 3 e 4 é superior que nas demais, pois os valores de C_m foram maiores. A conservação da vegetação ciliar também assume maior relevância para a prevenção das cheias e redução na erosão do solo.

A Extensão do Percurso Superficial (Eps) representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. A bacia do rio Ivaí apresentou valor médio para a Eps de 260 metros, variando de 120 metros (sub-bacia 5) e 590 metros (sub-bacia 13). Relacionada ao índice de Textura Topográfica ($Tt = 0,80$) a Eps é considerada média, por apresentar espaçamento estreito entre os cursos d'água, o que confirma o escoamento rápido das águas pluviais para os canais (POLITANO; PISSARRA, 2003).

Os índices de valores de Tt abaixo de 0,4 são classificados como textura topográfica grosseira, entre 0,4 e 1,0 como textura média e acima de 1,0 como textura fina (GARBOSSA, 2003). Com isso, a textura da bacia do rio Ivaí no geral pode ser classificada como média, como já mencionada, e para as sub-bacias 9, 10 e 13, como textura fina, por apresentarem índices acima de 1,0. Apenas a sub-bacia 05 apresentou índice abaixo de 0,4, classificada com textura topográfica grosseira.

O resultado para o índice de sinuosidade ($I_{sin} = 4,02$) indicou para os rios da bacia, principalmente o rio principal, que eles possuem tendência a serem sinuosos. Valores inferiores a 2,0 indicam a presença de canais retilíneos, com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos. A sub-bacia 5 foi a que apresentou maior I_{sin}

(6,51) e a sub-bacia 1 foi a que apresentou menor I_{sin} (2,20). O rio Ivaí e seus afluentes apresentam, em vários trechos, acúmulo de sedimentos e processos erosivos em função da sinuosidade, intensificados pela ação antrópica, principalmente no curso inferior do rio, próximo à foz.

O índice de rugosidade (I_r) entre as sub-bacias variou consideravelmente, visto que a Dd que compõe o índice está relacionada à área de cada sub-bacia. A sub-bacia 13 apresentou o menor índice ($I_r = 0,28$) e a sub-bacia 5 apresentou o maior I_r (3,73), sendo que a média geral do I_r foi igual a 2,05.

A análise morfométrica mostrou acentuada diferenciação entre as sub-bacias. Verifica-se que a maioria dos vales da bacia do rio Ivaí apresenta menor entalhamento. Isto se deve à baixa inclinação da bacia, principalmente nos terços médio à inferior, o que proporciona à área vazão lenta, possuindo baixo potencial erosivo. O valor médio da relação de relevo ($Rr = 7,60 \text{ km} \cdot \text{km}^{-1}$) e o índice de rugosidade ($I_r = 2,05$) para a bacia foram baixos e concentraram-se no curso superior do rio. Fato que indica vertentes curtas e confirma baixa probabilidade natural de ocorrerem cheias relâmpagos. O Índice de rugosidade (I_r), segundo Christofolletti (1980), relaciona a declividade e o comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. Quanto maior o valor da rugosidade mais íngremes são as vertentes. O comprimento das vertentes, contudo, pode variar de acordo com a combinação dos valores da densidade de drenagem (Dd) e da amplitude altimétrica (H). As áreas potencialmente assoladas por cheias relâmpagos são previstas como possuidoras de índices elevados de rugosidade, fina textura topográfica, comprimento mínimo do escoamento superficial em vertentes íngremes e altos valores dos gradientes dos canais.

De acordo com Destefani (2005), no compartimento basáltico, as sub-bacias suportam intensa atividade agrícola, nem sempre com precauções conservacionistas. A erosão e o hidro-transporte de sólidos são predominantemente processados no início do verão, quando a época de plantio e início de crescimento de culturas de larga escala coincide com as intensas precipitações. No compartimento representado pelas formações supra basálticas arenosas relacionadas ao arenito Caiuá, o padrão de erosão e transporte de sólidos não é tão diferenciado segundo épocas específicas do ano. A cobertura do solo no compartimento é formada pelas pastagens perenes que dominam as regiões a partir dos limites da sub-bacia 12 à jusante (FIGURAS 13, 14 e 15). A bacia de drenagem

do rio Ivaí não apresenta grande capacidade de armazenamento, fazendo com que as vazões de maior magnitude registradas em períodos de maior concentração de chuva tenham resposta rápida de vazão. O padrão deve-se principalmente à forma da bacia, cuja área de captação é pequena em relação ao comprimento do canal (BALDO, 2006).

Horton (1945) formulou as leis da composição da drenagem com séries geométricas em relação ao número de canais de uma rede hidrográfica, bem como os comprimentos médios desses canais. A lei do número dos canais significa que em uma determinada bacia hidrográfica a soma do número de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa. O primeiro termo é a unidade da primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação, obtida dividindo-se o número total de canais de uma ordem pelo número total de canais da ordem imediatamente superior (TABELA 27). Assim, quando o logaritmo do número de canais é lançado graficamente em relação a ordem, ocorre relação linear entre ambas as variáveis. Strahler (1957) destaca que os valores característicos da relação de bifurcação ocorrem entre 3,0 e 5,0.

TABELA 27. DADOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO IVAÍ – PR.

<i>Ordem</i>	<i>Nº canais</i>	<i>Comprimento (km)</i>	<i>Rb</i>	<i>Lm (km)</i>	<i>Rpb</i>	<i>Rlm</i>
1ª	93958	39894,91	-	0,42	-	-
2ª	20956	13639,83	4,48	0,65	515226,65	1,53
3ª	4587	7492,48	4,57	1,63	116694,81	2,51
4ª	1022	4628,81	4,49	4,53	25174,64	2,77
5ª	240	2982,15	4,26	12,43	5374,02	2,74
6ª	53	1188,50	4,53	22,42	1326,79	1,80
7ª	9	511,65	5,89	56,85	365,11	2,54
8ª	2	360,44	4,50	180,22	49,50	3,17
9ª	1	334,65	2,00	334,65	6,00	1,86
Total	120828	71033,42		0,59	664217,52	
			<i>Rb</i> = 4,34	<i>Rpb</i> = 5,50	<i>Rlmp</i> = 2,15	

Com os pressupostos da hierarquia fluvial de Strahler (1957), Christofletti (1980) definiu que quanto mais a relação de bifurcação estiver próxima do valor 4,0 (quatro), mais a bacia estará em equilíbrio. Neste caso haverá compensação entre a importação e exportação de energia e matéria do sistema de drenagem. Os resultados encontrados na *Rb* da bacia do rio Ivaí, representada pela sub-bacia 14, foram em média de 4,34 (TABELA 27). Para os segmentos de 6ª e 7ª ordem o valor do *Rb* foi de 5,89 e os segmentos de 8ª e 9ª ordem apresentaram valor 2,0,

caracterizando nestes pontos o desequilíbrio da rede de drenagem. Os valores encontrados estão relacionados ao controle litológico dos canais, os quais se confirmam por meio da Relação Ponderada de Bifurcação (R_{pb}) com valor 5,50.

Da mesma forma a lei dos comprimentos médios dos canais de determinada bacia hidrográfica ordenam-se segundo uma série geométrica direta. O primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem e a razão é a relação entre os comprimentos médios. O resultado é obtido da divisão de soma dos comprimentos médios dos canais de determinada ordem pela soma dos comprimentos médios da ordem imediatamente inferior. Os valores entre os comprimentos médios ocorrem entre 1,5 e 3,5. Também para esta lei ocorre relação linear entre as variáveis quando os seus valores são lançados no gráfico monolog.

Em relação à composição da rede drenagem, segundo as leis hortonianas, o pressuposto é que quando os valores encontrados formam as séries geométricas preconizadas, sem grandes desvios, significa que o substrato geológico tem pouca influência no controle da estruturação de rede de canais. O contrário, quando existe distorções significativas na composição das séries geométricas, havendo desvios devido ao controle litoestrutural.

A variação da R_{lm} na bacia do rio Ivaí se apresenta normal, dentro da média prevista na literatura (CANALI; OKA FIORI, 1987). Índices mais elevados ocorrem onde se predomina substratos rochosos com maior permeabilidade e menor escoamento superficial. A relação entre os comprimentos médios ponderados confirma o equilíbrio (R_{lmp}), com valor de 2,15, considerado dentro da normalidade. Ao se observar a relação entre os comprimentos médios de canais (R_{lm}) de cada ordem verificam-se os seguintes valores: 1,53 para a relação de 1ª e 2ª ordens; 2,51 para a relação 2ª e 3ª ordens; 2,77 para a relação entre 3ª e 4ª ordens; 2,74 para a relação entre 4ª e 5ª ordens; 1,80 para a relação entre 5ª e 6ª ordens; 2,54 para a relação entre 6ª e 7ª ordens; 3,17 para a relação entre 7ª e 8ª ordens; e 1,86 entre 8ª e 9ª ordens. Os resultados indicam desequilíbrio na relação entre os comprimentos médios dos canais de quinta e demais ordens, em que não há uma progressão geométrica direta no aumento dos comprimentos médios dos canais. As demais sub-bacias apresentaram o mesmo padrão (APÊNDICE 1).

Quando se projetam os valores teóricos dos números de canais em relação aos valores encontrados, verifica-se que o controle estrutural não é muito significativo nos canais das ordens inferiores. Somente a partir da relação da 4ª para

5ª ordem é que se manifestam os maiores distúrbios na composição da rede hidrográfica.

Na rede hidrográfica, o controle do substrato geológico é bastante notório no desenvolvimento dos comprimentos médios dos canais a partir da 5ª ordem, em que ocorre distúrbio muito significativo nas relações. Os comprimentos médios dos canais apresentam desvios em relação a uma progressão geométrica (TABELA 27). O fato gera falsa projeção dos canais das ordens superiores, que deveriam ser mais desenvolvidos, mas não tanto quanto os valores teóricos apontam.

5.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS POR SUB-BACIA DO RIO IVAÍ – PR

Os dados estatísticos por sub-bacia, como média, desvio padrão, coeficiente de variação em percentual e variação máxima e mínima das médias, estão dispostos na TABELA 28.

O coeficiente de variação (CV) apresentou resultados altos, o que era de se esperar para amostras heterogêneas como as vazões que variam muito devido as chuvas e estações do ano. O resultado das máximas e mínimas indica certeza em 99% de que a média real encontra-se dentro dos limites do intervalo. A probabilidade da média real ser menor que 19,3 ou maior que 20,0 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ para a área de estudo (Sub-bacia 14) é de apenas 1%. Os resultados atestam que a amostra utilizada com 27 anos de dados hidrológicos é satisfatória (TABELA 28).

As curvas de duração de fluxo das vazões médias apresentaram acentuada curvatura (FIGURA 27). A forma da curva possui significado e reflete as condições de escoamento na bacia no canal do rio. De acordo com Destefani (2005), quanto mais curvatura possuir a curva, maior é a variabilidade do fluxo, ocasionado por fluxos de vazão rápidos. Nota-se para a bacia do rio Ivaí, que em aproximadamente 30% do tempo total de escoamento, a vazão média atinge a estabilidade. O rio Ivaí possui escoamento fluvial extremamente oscilatório o que é observado durante as vazões muito baixas nos períodos de estiagem.

TABELA 28. MEDIDAS DE TENDÊNCIA, DISPERSÃO E INTERVALO DA MÉDIA DAS VAZÕES (VALORES MÉDIOS MENSAIS) DE 1985 A 2012.

SUB-BACIA	<i>Q(méd)</i>	<i>DESVPAD</i>	<i>CV (%)</i>	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>
1	27,7	26,88	97	28,4	27,0
2	26,6	24,89	94	27,3	26,0
3	23,1	21,70	94	23,6	22,5
4	24,4	20,39	83	25,0	23,9
5	20,9	18,83	90	21,3	20,4
6	22,5	18,62	83	23,0	22,1
7	23,4	22,46	96	24,0	22,8
8	23,4	19,93	85	23,9	22,9
9	22,0	9,70	44	22,3	21,8
10	23,1	10,06	44	23,4	22,8
11	22,6	16,82	74	23,1	22,2
12	20,2	14,13	70	20,6	19,8
13	17,4	5,41	31	17,5	17,2
14	19,6	12,53	64	20,0	19,3

Legenda: *Q(méd)* - Vazão média ($l.s^{-1}.km^{-2}$); *DESVPAD* - desvio padrão ($l.s^{-1}.km^{-2}$); *CV* - coeficiente de variação (%); *MAX* - máxima ($l.s^{-1}.km^{-2}$); *MIN* - mínima ($l.s^{-1}.km^{-2}$).

As vazões máximas não apresentaram, no geral, curvatura acentuada (FIGURA 28). A variação da vazão máxima anual ocorreu entre 19,74 e 9267,12 $m^3.s^{-1}$ nas sub-bacias 13 e 8 respectivamente, com característica de menor regulação natural, apresentada pela forma da curvatura.

De acordo com Destefani (2005), no estudo do regime hidrológico dos sistemas fluviais, as vazões de elevada magnitude e intensidade são as que recebem maior atenção. No período em que os rios estabelecem-se na fase de águas altas, são verificadas as transformações mais rápidas e significativas do ambiente. Os impactos são visualizados no aspecto geomorfológico (esculturação e modificação das formas do leito, margens e até mesmo planície), ecológica (conectividade entre o canal e a planície) e humano (perda de cultivos agrícolas, destruição de residências e estabelecimentos comerciais, com prejuízos materiais e muitas vezes humanos).

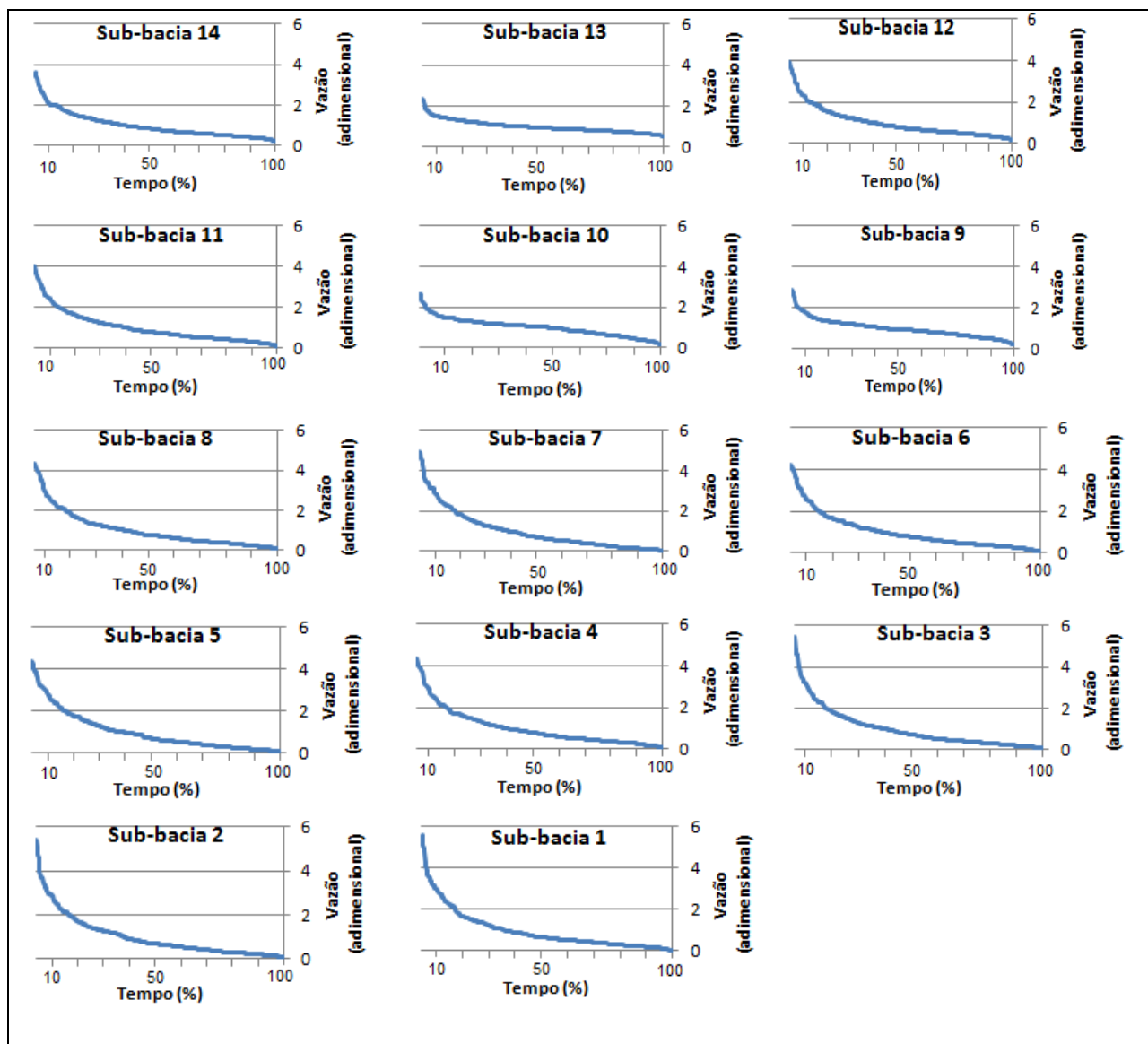


FIGURA 27 – CURVA DE PERMANÊNCIA POR SUB-BACIA. VALOR MÉDIO MENSAL: 1985-2012.

As vazões de grande magnitude configuram elevada altura do nível d'água, descarga e volume, a ponto de causar inundações. São retratados nos eventos de cheia e inundação que se diferenciam principalmente pela magnitude e seu efeito. As inundações superam a capacidade de escoamento do canal causando transbordamentos e espalhando as águas nas áreas mais baixas adjacentes ao canal. O maior entendimento possível do comportamento dos aspectos de vazões (média, máximas e mínimas), se mostram necessárias ao bom planejamento ambiental.

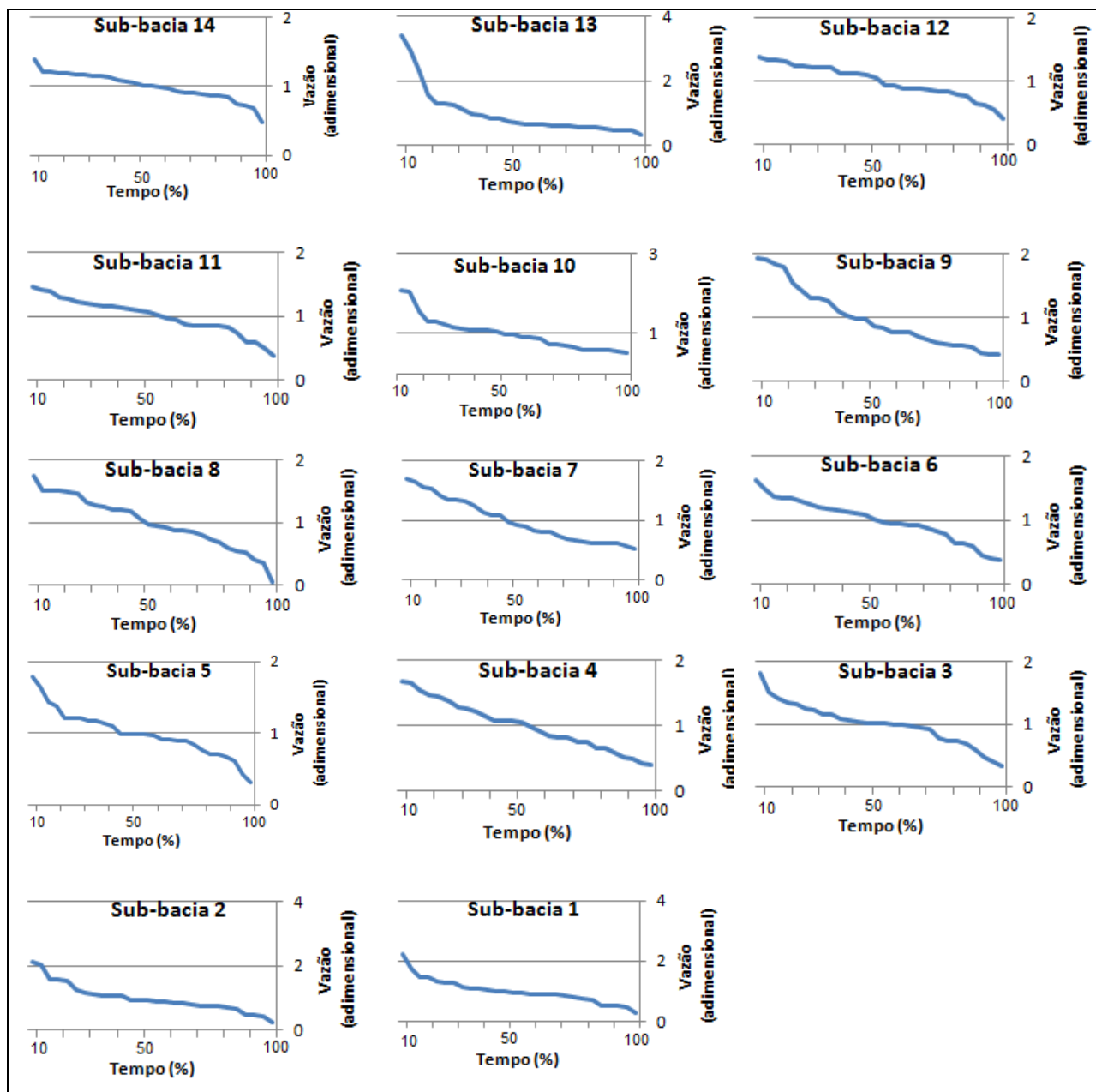


FIGURA 28 – CURVA DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS: MÁXIMAS ANUAIS POR SUB-BACIA (1985-2012)

Nas vazões mínimas, que representam os períodos de estiagem, a curva de duração de vazão apresentou maior inclinação, o que representa maior estabilidade no escoamento. As vazões mínimas de 7 dias apresentaram inclinação da curvatura maior comparada ao período de estiagem de 90 dias. Os valores médios extremos também foram maiores. Variaram de 0,14 (mínima de 90 dias) a $719,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (mínima de 07 dias) nas sub-bacias 1 e 14, respectivamente (FIGURA 29).

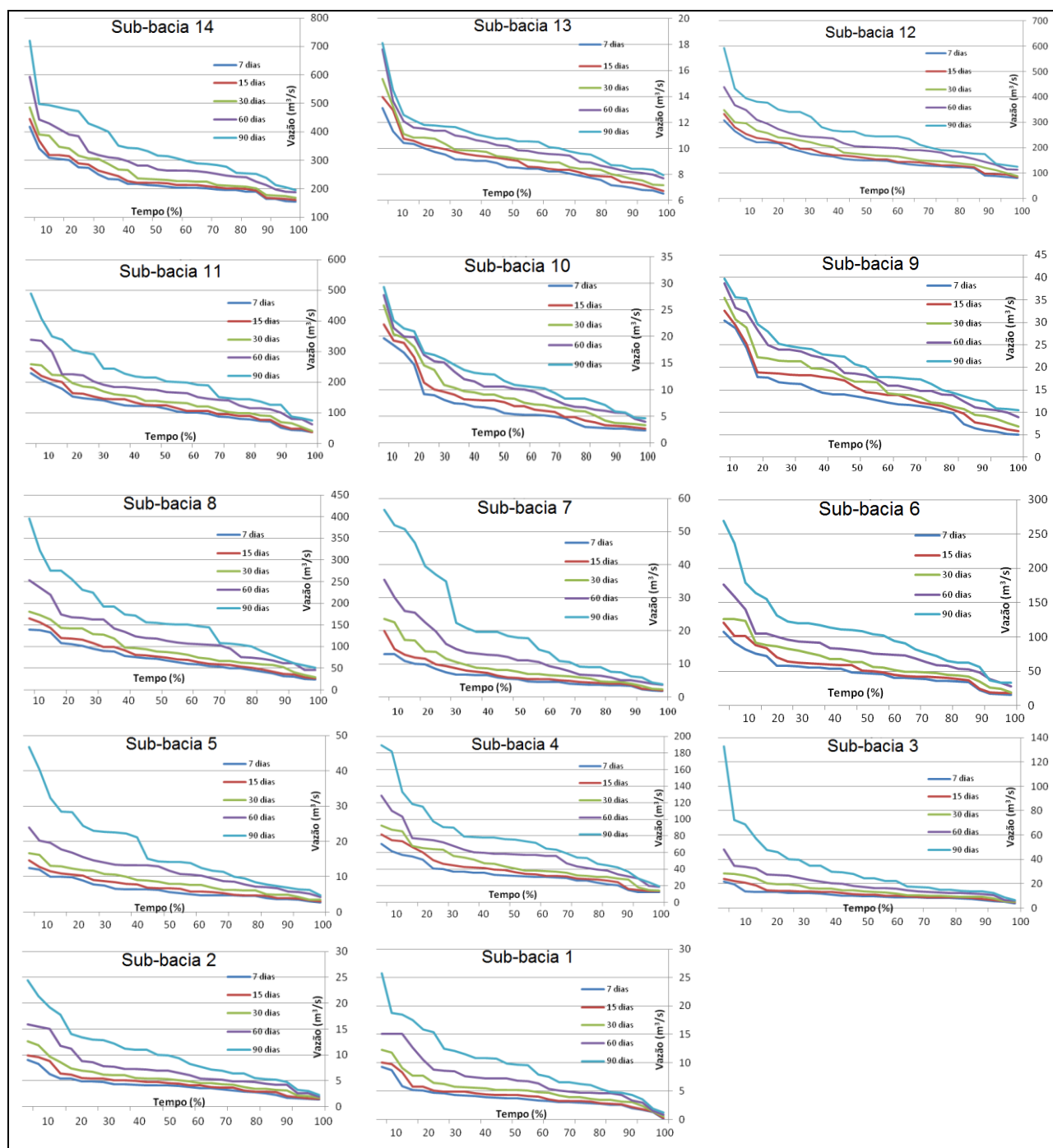


FIGURA 29 – CURVA DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES MÉDIAS ANUAIS: MÍNIMAS E DURAÇÃO DA ESTIAGEM POR SUB-BACIA (1985-2012).

A distribuição das vazões mínimas depende dos diferentes reservatórios subterrâneos, caracterizados por camadas de solo e rocha. Um período longo de altas precipitações eleva o nível do lençol freático, permitindo regularizar as vazões baixas. Como o escoamento subterrâneo é mais lento se comparado ao superficial, pode existir dependência de ano para ano. Assim, a duração média do fluxo de vazão na estiagem supera em importância o valor instantâneo mínimo de estiagem.

A curva de permanência das vazões mínimas mostra curvatura típica de bacias hidrográficas maiores, com variação de escoamento oscilatória e pouca contribuição do lençol freático. A situação pode ser observada nas vazões muito baixas durante os períodos de estiagem (FIGURA 29).

5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Na TABELA 29 estão apresentados os dados que compõe o primeiro grupo canônico de variáveis que, ao ser relacionado com o método estatístico multivariado, avaliam as análises fisiográficas em bacias hidrográficas (segundo grupo de variáveis – DFC e levantamento morfométrico). Assim, o grupo das variáveis independentes são: vazão média de longo período $Q(média)$; vazão máxima $Q(máx)$ e vazões mínimas $Q(mín)$ (7, 15, 30, 60 e 90 dias), do período médio de 1985 a 2012.

Na TABELA 26 estão apresentados os resultados que compõe o segundo grupo de variáveis canônicas que se relacionam com o método estatístico multivariado, sendo os parâmetros que compõe o DFC (média dos anos 1986, 2000 e 2011) e o levantamento morfométrico em canais fluviais, por sub-bacia.

Na TABELA 30 estão apresentados os resultados da análise de componentes principais (ACP) para as variáveis hidrológicas.

O resultado da ACP para as variáveis hidrológicas (TABELA 30) mostrou que os três primeiros componentes (CP1, CP2, CP3) representam 100% da variação total. Logo, pode-se considerar que três variáveis podem ser retidas e as demais (4) podem ser descartadas. As variáveis que podem ser retidas, analisando os autovalores e autovetores, são $Q(mín7)$, $Q(média)$ e $Q(máx)$. Com isso, as demais variáveis hidrológicas: $Q(mín15)$, $Q(mín30)$, $Q(mín60)$, $Q(mín90)$ foram descartadas da análise.

Devido à complexidade dos ecossistemas tornam-se necessárias técnicas que possibilitem a análise conjunta das informações hidrográficas, durante os períodos de cheia e seca. Neste sentido, a ACP tornou-se uma ferramenta estatística muito interessante que se mostrou adequada para estudar a ordenação hidrológica das variáveis fluviais (BERNARDI *et al.*, 2012). Debels *et al.* (2005)

atribuem a essa técnica a capacidade de reduzir as informações contidas nas variáveis condicionantes. Ao discriminar a composição das águas da bacia entre os períodos hidrológicos, a informação fica reduzida a três variáveis condicionantes.

TABELA 29. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS POR SUB-BACIA – RIO IVAÍ PR.

Sub-bacia	$Q(média)$	$Q(máx)$	$Q(mín7)$	$Q(mín15)$	$Q(mín30)$	$Q(mín60)$	$Q(mín90)$
1	27,7	291,7	3,6	4,1	5,0	6,7	9,3
2	26,6	286,5	3,7	4,2	5,1	6,6	9,3
3	23,1	332,0	2,9	3,3	4,1	5,5	9,1
4	24,4	245,30	3,9	4,6	5,4	6,8	9,0
5	20,9	335,8	2,4	2,7	3,3	4,5	6,7
6	22,5	244,9	3,9	4,4	5,1	6,4	8,5
7	23,4	447,4	1,8	2,1	2,7	3,9	6,4
8	23,4	272,0	3,7	4,1	4,8	6,3	8,4
9	22,0	149,1	8,7	9,8	10,9	12,3	13,3
10	23,1	89,0	8,2	9,6	11,2	13,2	14,6
11	22,6	206,8	5,1	5,5	6,2	7,6	9,6
12	20,2	152,6	5,6	6,0	6,6	7,8	9,5
13	17,4	76,3	10,8	11,3	11,8	12,7	13,3
14	19,6	107,5	6,7	7,0	7,6	8,7	10,1

Legenda: Q - Vazão ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$); $Q(máx)$ - Vazões Máximas Anuais (valores médios) ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$); $Q(mín)$ - Vazões Mínimas Diárias (valores médios) ($l\ s^{-1}\ km^{-2}$).

As sub-bacias 5, 7, 9, 10 e 13 foram as mais relevantes na definição da CP1 (FIGURA 30). As vazões mínimas de 07 dias na definição das componentes principais foram mais destacáveis se comparadas as demais variáveis hidrológicas. As sub-bacias apresentam padrão de drenagem retangular, subparalelo e dendrítico, com vertentes curtas, são menores e não estão inseridas no rio principal. As sub-bacias 5 e 13 apresentaram o menor índice de chuva média, o que pode influenciar nos resultados. Nas áreas abrangidas pelas sub-bacias predominou declividade acima de 8%, com exceção da sub-bacia 13 que apresentou erosividade baixa, causada pela chuva.

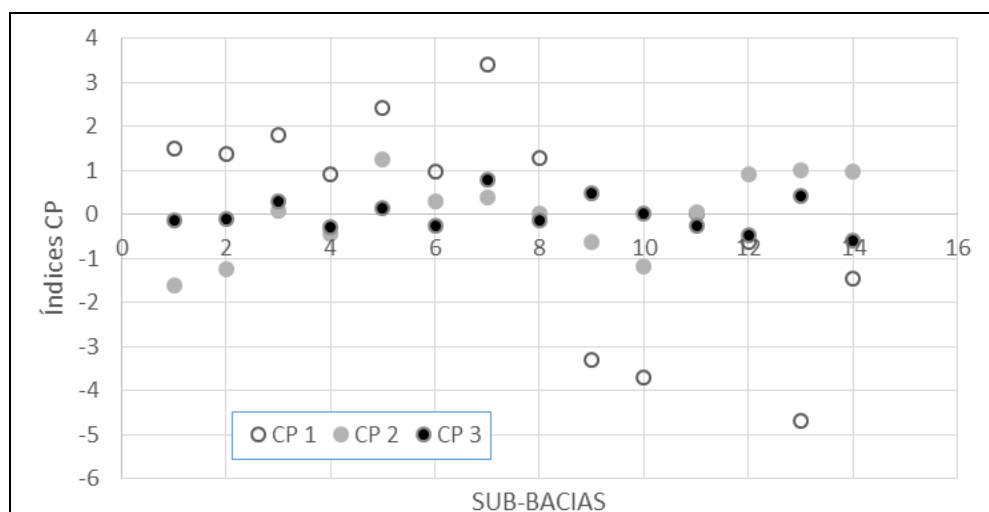


FIGURA 30 – DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS HIDROLÓGICAS.

As sub-bacias 1, 2, 5, 10, 12, 13 e 14 foram as mais relevantes na definição da CP2 (FIGURA 30). Na CP2, as vazões médias se destacaram em 92% das demais variáveis hidrológicas considerando o índice autovetor. As sub-bacias apresentam padrão de drenagem retangular, subparalelo e dendrítico, com vertentes médias, abrangendo em grande parte o rio principal. As sub-bacias 13 e 14 apresentaram o menor índice de chuva média, enquanto as sub-bacias 1, 2 e 10 apresentaram os maiores índices. Nas áreas abrangidas pelas sub-bacias predominou declividade média e apresentou erosividade média a baixa, causada pela chuva.

TABELA 30. RESULTADOS DA ANÁLISE DE CP (COMPONENTES PRINCIPAIS) – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS.

	Autovalores		Variância total		Autovalor acumulado		% acumulada	
CP1	5,99		86%		7,99		86	
CP2	0,82		12%		6,81		98	
CP3	0,15		2%		6,96		100	
CP4	0,03		0%		6,99		100	
CP5	0,01		0%		7,00		100	
CP6	0,00		0%		7,00		100	
CP7	0,00		0%		7,00		100	
Autovetores	Coef. X1	Coef. X2	Coef. X3	Coef. X4	Coef. X5	Coef. X6	Coef. X7	Ordem
CP1	0,222	0,381	-0,405	-0,407	-0,406	-0,401	-0,387	Q _{min7}
CP2	-0,921	-0,068	0,047	-0,026	-0,100	-0,189	-0,315	Q _{méd}
CP3	-0,171	0,921	0,126	0,170	0,179	0,138	0,166	Q _{máx}
CP4	-0,270	-0,042	-0,581	-0,325	-0,058	0,129	0,680	Q _{min90}
CP5	-0,015	-0,004	-0,483	-0,005	0,346	0,622	-0,510	Q _{min60}
CP6	-0,025	0,035	0,473	-0,608	-0,346	0,534	-0,026	Q _{min15}
CP7	-0,013	0,008	-0,154	0,574	-0,742	0,310	0,015	Q _{min30}

Legenda: Coef. – Coeficiente; X1 – Q_{méd}; X2 – Q_{máx}; X3 – Q_{min7}; X4 – Q_{min15}; X5 – Q_{min30}; X6 – Q_{min60}; X7 – Q_{min90}.

As sub-bacias 7, 12 e 14 foram as mais relevantes na definição da CP3 que destacou a vazão máxima em 92% das demais variáveis hidrológicas considerando o índice autovetor (FIGURA 30). Entretanto no índice autovalor a variância total foi apenas 2% para a componente (TABELA 30).

A ACP aplicada ao DFC indica que a utilização do método apenas com a média dos parâmetros (CA, CO, DM, E, PE, DD e BH), ou seja, sem a aplicação da fórmula descritiva fica destacável na CP2 com 27% de seu uso. Entretanto, a utilização do DFC com os valores médios da fórmula descritiva mostrou grau de importância em 70% e, assim, as duas utilizações serão verificadas no confronto com as vazões afim de verificar sua eficiência (TABELA 31).

As variações com a aplicação da formula descritiva com os pesos dos índices que compõem os parâmetros do DFC iguais a 4 foram proporcionais mais próximos do método original se comparado com os de peso 5 (FIGURA 31a,b,d).

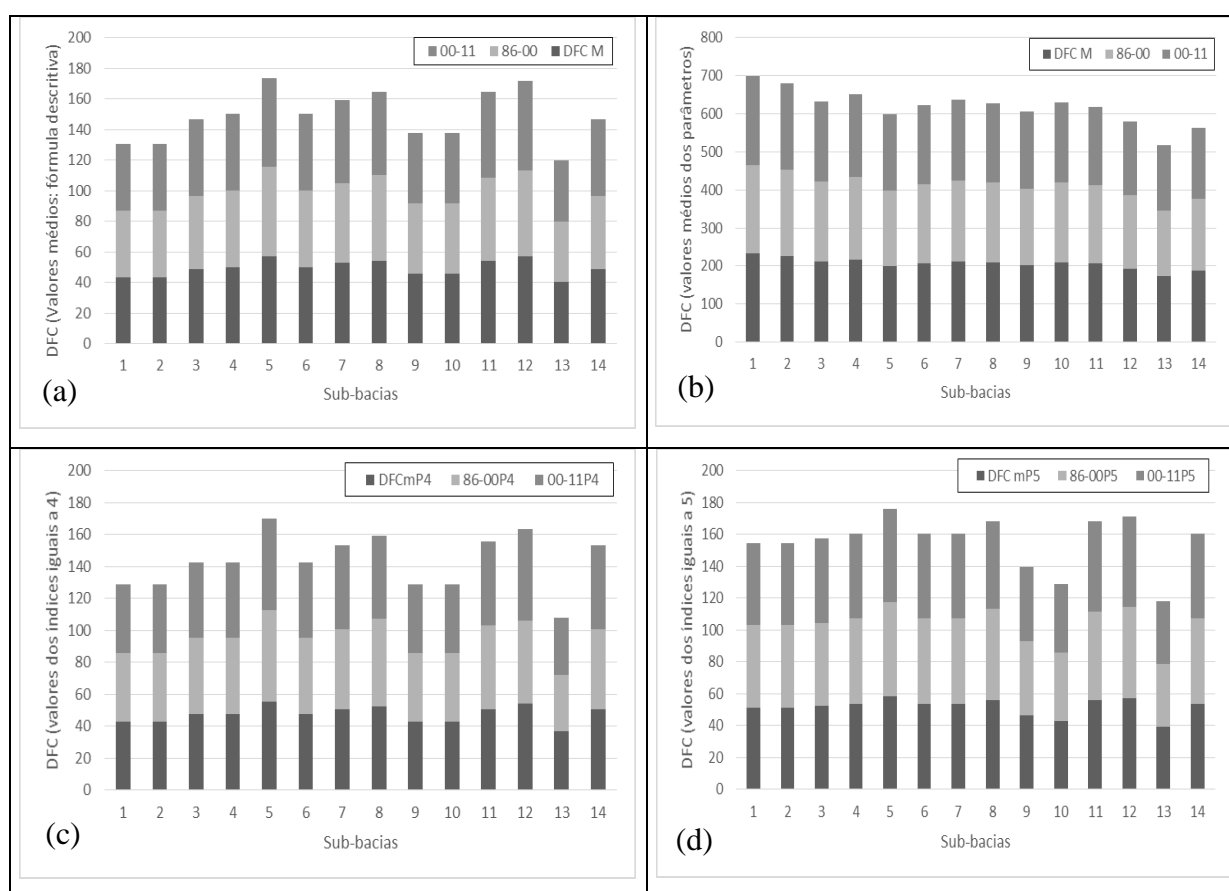


FIGURA 31 – GRÁFICOS COMPARATIVOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DFC: (a) COM A APLICAÇÃO DA FÓRMULA DESCRITIVA; (b) SOMENTE COM A MÉDIA DOS PARÂMETROS; (c) COM A APLICAÇÃO DA FÓRMULA DESCRITIVA COM TODOS OS ÍNDICES COM PESOS IGUAIS A 4 E (d) COM A APLICAÇÃO DA FÓRMULA DESCRITIVA COM TODOS OS ÍNDICES COM PESOS IGUAIS A 5.

TABELA 31. RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DO DFC.

				Autovalores	Variância total	Autovalor acumulado	% acumulada						
				CP1	8,40	70%	8,40	70%					
				CP2	3,27	27%	11,67	97%					
				CP3	0,24	2%	11,91	99%					
				CP4	0,05	0%	11,96	100%					
				CP5	0,02	0%	11,98	100%					
				CP6	0,01	0%	12,00	100%					
				CP7	0,00	0%	12,00	100%					
				CP8	0,00	0%	12,00	100%					
				CP9	0,00	0%	12,00	100%					
				CP10	0,00	0%	12,00	100%					
				CP11	0,00	0%	12,00	100%					
				CP12	0,00	0%	12,00	100%					
Autovetores	Coef. X1	Coef. X2	Coef. X3	Coef. X4	Coef. X5	Coef. X6	Coef. X7	Coef. X8	Coef. X9	Coef. X10	Coef. X11	Coef. X12	Ordem
CP1	0,331	0,334	0,333	0,025	0,025	0,024	0,342	0,339	0,339	0,329	0,326	0,324	X3
CP2	-0,132	-0,095	-0,116	0,550	0,550	0,550	-0,049	-0,022	-0,069	0,116	0,127	0,128	X5
CP3	-0,281	-0,293	-0,226	-0,166	-0,173	-0,171	-0,150	-0,199	-0,137	0,439	0,437	0,483	X11
CP4	0,132	-0,430	0,424	0,036	0,060	0,004	0,065	-0,580	0,447	0,022	-0,228	0,143	X2
CP5	-0,278	-0,085	-0,398	-0,018	-0,027	0,012	0,431	-0,081	0,523	-0,070	0,343	-0,409	X9
CP6	-0,437	-0,416	0,110	-0,015	-0,021	-0,023	0,231	0,580	0,101	-0,183	-0,309	0,307	X8
CP7	-0,425	0,367	0,204	-0,020	-0,011	0,031	-0,599	0,012	0,441	-0,239	0,141	0,105	X7
CP8	-0,056	-0,379	0,522	-0,056	-0,048	0,106	-0,185	0,226	-0,156	0,169	0,386	-0,527	X12
CP9	0,163	-0,080	0,027	-0,044	-0,489	0,543	0,104	-0,089	-0,120	-0,512	0,285	0,231	X6
CP10	-0,140	0,121	-0,080	-0,163	-0,378	0,537	-0,052	0,020	0,132	0,541	-0,413	-0,135	X10
CP11	0,000	0,016	0,001	-0,796	0,527	0,267	0,058	-0,034	-0,045	-0,084	0,033	0,056	X4
CP12	-0,528	0,358	0,392	0,050	-0,021	-0,028	0,452	-0,325	-0,354	0,010	0,001	-0,011	X1

Legenda: Coef. – Coeficiente; X1 – DFC médio (1986-2011); X2 – DFC médio (1986-2000); X3 – DFC médio (2000-2011); X4 – DFC médio/parâmetros (1986-2011); X5 – DFC médio/parâmetros (1986-2000); X6 – DFC médio/parâmetros (2000-2011); X7 – DFC médio peso 4 (1986-2011); X8 – DFC médio peso 4 (1986-2000); X9 – DFC médio peso 4 (2000-2011); X10 – DFC médio peso 5 (1986-2011); X11 – DFC médio peso 5 (1986-2000); X12 – DFC médio peso 5 (2000-2011).

A diferença da aplicação do DFC aponta que com a média dos parâmetros os resultados entre as sub-bacias são mais homogêneos (FIGURA 31b). Verifica-se que os resultados temporais de 1986 a 2000 e de 2000 a 2011 acompanha os resultados médios (1986 a 2011) nas duas formas de levantamento do potencial de degradação (FIGURA 31).

A ACP foi realizada para as variáveis que compõe o DFC: CA, CO, DM, E, PE, DD e BH (TABELA 32). Dentro do método DFC, as variáveis mais significativas, com 97% da variância total, considerados os autovalores e autovetores, são: *DD*, *PE* e *DM* na *CP1*; *CO*, *BH*, *DM* e *PE* na *CP2* e *E*, *BH* e *CA* na *CP3*.

TABELA 32. RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INTEGRANTES DO DFC.

	Autovalores		Variância total		Autovalor acumulado		% acumulada	
<i>CP1</i>	3,87		55%		3,87		55	
<i>CP2</i>	1,61		23%		5,49		78	
<i>CP3</i>	1,30		19%		6,79		97	
<i>CP4</i>	0,13		2%		6,91		99	
<i>CP5</i>	0,05		1%		6,97		100	
<i>CP6</i>	0,02		0%		6,99		100	
<i>CP7</i>	0,01		0%		7,00		100	
Autovetores	Coef. X1	Coef. X2	Coef. X3	Coef. X4	Coef. X5	Coef. X6	Coef. X7	Ordem
<i>CP1</i>	0,386	0,386	0,413	0,223	0,416	0,455	0,320	<i>CA</i>
<i>CP2</i>	-0,370	-0,471	0,429	0,009	0,441	0,237	-0,455	<i>DM</i>
<i>CP3</i>	-0,377	-0,191	0,064	0,773	-0,059	-0,197	0,421	<i>E</i>
<i>CP4</i>	-0,121	0,221	-0,465	0,400	-0,175	0,596	-0,419	<i>DD</i>
<i>CP5</i>	-0,382	-0,212	-0,267	-0,404	0,055	0,487	0,579	<i>BH</i>
<i>CP6</i>	0,543	-0,550	-0,474	0,168	0,384	-0,026	0,042	<i>CO</i>
<i>CP7</i>	-0,340	0,444	-0,361	-0,035	0,670	-0,326	-0,043	<i>PE</i>

Legenda: Coef. – Coeficiente; X1 – CA; X2 – CO; X3 – DM; X4 – E; X5 – PE; X6 – DD; X7 – BH.

As caracterizações físicas das sub-bacias 3, 5, 9, 10 e 13 foram mais relevantes na definição da *CP1* como a variável de alta significância pela ACP. Em seguida a *CP2* com as sub-bacias 1, 2 e 5, e a *CP3* com as sub-bacias 7, 10 e 13 (FIGURA 32).

Nas sub-bacias a variação de altitude no geral é alta e localizado em escala espacial consideravelmente baixa quando comparada com a área total da bacia do rio Ivaí. Nestas áreas as vertentes dos rios são mais curtas e o relevo concentra as maiores declividades.

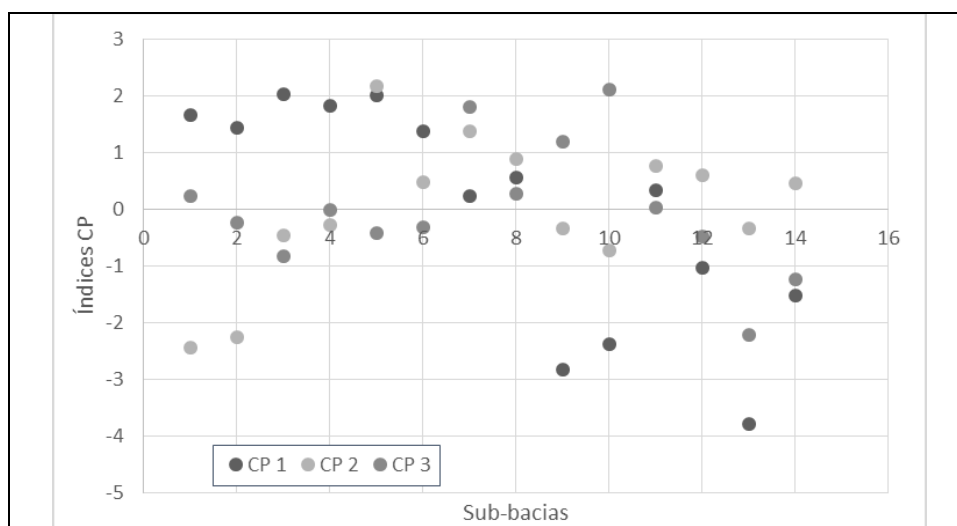


FIGURA 32 – DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DO DFC.

Na definição das CP dos parâmetros morfométricos, ao se considerar os autovalores e autovetores, das 16 variáveis analisadas, podem-se reter 10 e descartar 6, quando consideradas 60% da variância total (CP1). As 10 variáveis mais significativas da CP1 foram: Comprimento médio dos canais, Índice de rugosidade, Extensão do percurso superficial, Coeficiente de manutenção, Textura topográfica, Ordem dos canais, Densidade de drenagem, Relação ponderada de bifurcação, Amplitude altimétrica e Densidade de rios. Na pesquisa nenhuma variável morfométrica foi retida por considerar a variância total diferente de 0 (TABELA 33). As sub-bacias de maior representação na definição foram 5, 9, 10 e 13 na CP1; 1 e 2 na CP2; 5 na CP3; 10 e 13 na CP4; e 6 na CP5 (FIGURA 33).

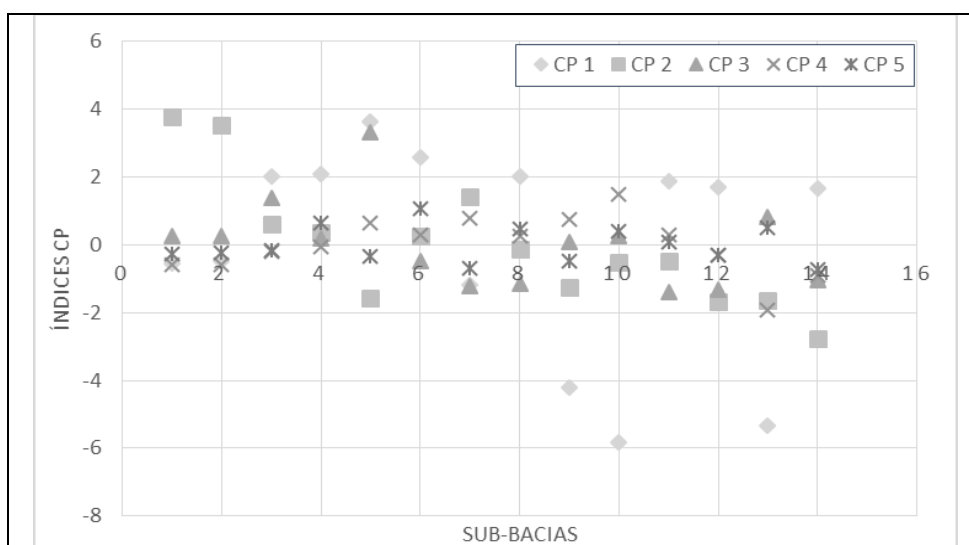


FIGURA 33 – DISPOSIÇÃO DAS SUB-BACIAS NA DEFINIÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS MORFOMÉTRICAS.

TABELA 33. RESULTADOS DA ANÁLISE DE (CP) COMPONENTES PRINCIPAIS – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	CP16
Autovalores	9,55	3,61	1,67	0,72	0,29	0,08	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Variância total	60	23	10	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autovalor acumulado	9,55	13,16	14,83	15,55	15,84	15,92	15,97	15,99	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
% Acumulada	60%	82%	93%	97%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Coefs, Autovetores	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
CP1	0,302	-0,321	0,274	0,293	-0,306	-0,306	-0,067	0,138	0,173	0,100	0,312	-0,305	0,038	0,276	-0,286	-0,213
CP2	-0,045	-0,044	-0,049	0,089	-0,157	-0,157	0,424	-0,348	-0,373	-0,438	-0,064	-0,159	-0,395	-0,158	-0,184	-0,246
CP3	-0,243	0,027	0,355	0,270	-0,005	-0,006	0,364	-0,446	0,131	0,282	0,071	0,006	0,464	-0,301	0,048	0,020
CP4	-0,056	-0,006	0,185	0,132	-0,129	-0,127	0,110	0,100	-0,466	0,148	0,171	-0,132	-0,175	0,162	0,275	0,688
CP5	0,079	0,037	0,329	0,230	0,113	0,103	-0,491	-0,351	0,187	-0,411	0,281	0,122	-0,245	-0,108	0,267	0,068
CP6	0,451	0,096	-0,005	-0,006	0,032	0,041	0,224	0,103	-0,242	-0,398	0,108	0,058	0,532	0,170	0,395	-0,154
CP7	0,218	-0,223	-0,342	-0,136	-0,262	-0,234	0,052	-0,318	0,442	-0,063	-0,292	-0,246	0,016	-0,023	0,325	0,298
CP8	0,334	0,282	0,315	0,015	0,063	0,078	0,467	0,328	0,387	0,068	-0,073	0,068	-0,406	-0,169	0,131	0,010
CP9	0,354	-0,315	0,154	0,002	-0,012	0,019	-0,215	0,190	-0,243	-0,029	-0,264	-0,004	0,135	-0,676	-0,188	0,167
CP10	0,149	-0,035	-0,109	-0,001	0,126	0,197	0,219	-0,110	0,192	-0,293	0,176	0,220	0,128	0,160	-0,592	0,505
CP11	-0,554	-0,294	0,141	0,013	0,085	-0,183	0,114	0,454	0,233	-0,477	-0,037	-0,081	0,126	-0,072	0,107	0,071
CP12	-0,003	-0,520	-0,375	0,176	-0,081	0,244	0,193	0,077	0,011	0,161	0,412	0,365	-0,160	-0,171	0,232	-0,103
CP13	-0,080	-0,187	0,390	-0,250	-0,585	0,265	0,000	-0,064	-0,029	-0,053	-0,299	0,416	-0,006	0,246	0,013	-0,036
CP14	-0,084	0,283	-0,040	-0,498	-0,434	0,069	-0,036	0,066	0,057	-0,066	0,538	-0,208	0,076	-0,340	-0,044	0,026
CP15	0,051	0,063	0,023	-0,209	0,056	-0,763	-0,013	-0,045	-0,017	0,046	0,119	0,583	-0,006	-0,068	-0,027	0,003
CP16	-0,077	0,422	-0,296	0,599	-0,465	-0,055	-0,120	0,198	0,053	-0,104	-0,138	0,195	0,084	-0,119	-0,054	0,057

Legenda: Coef. – Coeficiente; X1 – *Or* (*Ordem*); X2 – *Lm* (comprimento médio dos rios (km)); X3 – *Dr* (densidade de rios (rios km⁻²)); X4 – *Dd* (densidade de drenagem (km km⁻²)); X5 – *Eps* (extensão do percurso superficial (km)); X6 – *Cm* (coeficiente de manutenção (m² m⁻¹)); X7 – *Rr* (relação de relevo (km km⁻¹)); X8 – *G* (gradiente dos canais (%)); X9 – *K_c* (o índice de compactidade (adimensional)); X10 – *I_{sin}* (índice de sinuosidade (adimensional)); X11 – *Ir* (índice de rugosidade (adimensional)); X12 – *Tt* (textura topográfica (adimensional)); X13 – *Ff* (fator forma (adimensional)); X14 – *Hm* (Altitude média); X15 – *Rpb* (Relação ponderada de bifurcação (adimensional)); X16 – *Rlmp* (Relação dos comprimentos médios dos canais ponderada (adimensional)).

A avaliação do DFC com a Análise de Correlação Canônica (ACC) permite verificar que o método apresentou correlações elevadas com as vazões a 1% de significância (TABELA 34). As análises de correlação canônica apontam que as variáveis não são independentes e que as associações são estabelecidas, principalmente, pela influência de: – Vazão média de longo período relacionada com *Diagnóstico Físico Conservacionista (valores médios dos parâmetros)*; – Vazões máximas relacionadas com *Diagnóstico Físico Conservacionista (valores médios dos parâmetros)* e *Diagnóstico Físico Conservacionista (pesos aos parâmetros iguais a 5 e fórmula descritiva)*; – Vazões mínimas de sete dias relacionadas com *Diagnóstico Físico Conservacionista (pesos aos parâmetros iguais a 4 e 5 e fórmula descritiva)*, *Diagnóstico Físico Conservacionista (valores médios dos parâmetros)* e também com *Diagnóstico Físico Conservacionista (pesos aos parâmetros e fórmula descritiva)* (TABELA 34).

TABELA 34. CORRELAÇÕES CANÔNICAS: DFC VERSUS VAZÕES – BACIA DO RIO IVAÍ (PR).

	R canônico	R ² canônico	Qui-quadrado	GL	p-valor
<i>DFC(1)</i>	0,8113	0,6581	12,34	3	0,0063
<i>DFC(2)</i>	0,9951	0,9902	33,22	3	0,0001
<i>DFC(3)</i>	0,8848	0,7828	17,56	3	0,0005
<i>DFC(4)</i>	0,9210	0,8483	21,69	3	0,0001
	<i>Q(média)</i>		<i>Q(máx)</i>	<i>Q(mín7)</i>	
<i>DFC(1)</i>	-0,167		0,342	-0,515	
<i>DFC(2)</i>	0,992		0,587	-0,634	
<i>DFC(3)</i>	-0,086		0,400	-0,613	
<i>DFC(4)</i>	0,203		0,551	-0,786	

Legenda: *Q* – Vazão (l/s/km²); *Q(máx)* – Vazões Máximas Anuais (valores médios) (l/s/km²); *Q(mín)* – Vazões Mínimas Diárias (valores médios) (l/s/km²); *DFC(1)* – diagnóstico físico conservacionista com a aplicação dos pesos aos parâmetros e fórmula descritiva; *DFC(2)* – diagnóstico físico conservacionista com a aplicação dos valores médios dos parâmetros; *DFC(3)* – diagnóstico físico conservacionista com a aplicação dos pesos iguais a 4 aos parâmetros e fórmula descritiva; *DFC(4)* – diagnóstico físico conservacionista com a aplicação dos pesos iguais a 5 aos parâmetros e fórmula descritiva.

O rio Ivaí apresenta, no geral, condições equilibradas de escoamento das vazões. Na estiagem há a manutenção das vazões mínimas com as condições climáticas, geográficas e fisiográficas que contribuem para que a situação ocorra. Os parâmetros de levantamento fisiográficos analisados apresentaram maiores condições de previsões das vazões mínimas (TABELA 34). Tais parâmetros podem também ser bem empregados nas previsões e na regionalização de vazões, em regiões com deficiência no levantamento e medições das vazões.

TABELA 35. CORRELAÇÕES CANÔNICAS: VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS *VERSUS* VAZÕES – BACIA DO RIO IVAÍ (PR).

	R canônico	R ² canônico	Qui-quadrado	GL	p-valor
<i>Or</i>	0,9176	0,8420	21,219	3	0,0001
<i>Lm</i>	0,9271	0,8595	22,570	3	0,0001
<i>Dr</i>	0,8175	0,6682	12,688	3	0,0054
<i>Dd</i>	0,8803	0,7748	17,146	3	0,0007
<i>Eps</i>	0,9606	0,9228	29,461	3	0,0001
<i>Cm</i>	0,9606	0,9227	29,443	3	0,0001
<i>Rr</i>	0,8278	0,6853	13,294	3	0,0040
<i>G</i>	0,7353	0,5406	8,9452	3	0,0300
<i>Kc</i>	0,8821	0,7721	17,313	3	0,0006
<i>Isin</i>	0,7842	0,6149	10,975	3	0,0119
<i>Ir</i>	0,9271	0,8594	22,564	3	0,0001
<i>Tt</i>	0,9607	0,9230	29,480	3	0,0001
<i>Ff</i>	0,7640	0,5837	10,077	3	0,0179
<i>Hm</i>	0,8791	0,7728	17,044	3	0,0007
<i>Rpb</i>	0,8217	0,6752	12,931	3	0,0048
<i>Rlmp</i>	0,6023	0,3628	5,1820	3	0,1589
<i>Chuva</i>	0,8010	0,6417	11,802	3	0,0081

	Q(média)	Q(máx)	Q(mín7)
<i>Or</i>	0,036	0,292	-0,599
<i>Lm</i>	-0,219	-0,489	0,758
<i>Dr</i>	0,020	0,444	-0,635
<i>Dd</i>	0,269	-0,596	-0,797
<i>Eps</i>	-0,429	-0,640	0,879
<i>Cm</i>	-0,429	-0,642	0,880
<i>Rr</i>	0,693	0,541	-0,377
<i>G</i>	-0,505	-0,192	0,010
<i>Kc</i>	-0,671	-0,297	0,102
<i>Isin</i>	-0,688	-0,196	0,120
<i>Ir</i>	0,025	0,436	-0,687
<i>Tt</i>	-0,434	-0,641	0,881
<i>Ff</i>	-0,739	-0,295	0,275
<i>Hm</i>	-0,116	0,237	-0,509
<i>Rpb</i>	-0,360	-0,607	0,780
<i>Rlmp</i>	-0,330	-0,456	0,579
<i>Chuva</i>	0,797	0,482	-0,519

Legenda: Q = Vazão (l/s/km²); Q(máx) = Vazões Máximas Anuais (valores médios) (l/s/km²); Q(mín) = Vazões Mínimas Diárias (valores médios) (l/s/km²); *Or* – Ordem; *Lm* – comprimento médio dos rios (km); *Dr* – densidade de rios (rios km⁻²); *Dd* – densidade de drenagem (km km⁻²); *Eps* – extensão do percurso superficial (km); *Cm* – coeficiente de manutenção (m² m⁻¹); *Rr* – relação de relevo (km km⁻¹); *G* – gradiente dos canais (%); *Kc* – o índice de compactidade (adimensional); *Isin* – índice de sinuosidade (adimensional); *Ir* – índice de rugosidade (adimensional); *Tt* – textura topográfica (adimensional); *Ff* – fator forma (adimensional); *Hm* – Altitude média; *Rpb* – Relação ponderada de bifurcação (adimensional); *Rlmp* – Relação dos comprimentos médios dos canais ponderada (adimensional).

Dentro do método DFC, as variáveis mais significativas na definição do método, levantadas nesta pesquisa, são densidade de drenagem, potencial erosivo do solo e declividade média avaliados na CP1 e cobertura vegetal original, declividade média e balanço hídrico na CP2. Na CP3 foi destaque isolado a erosividade da pluviosidade, balanço hídrico e proteção da cobertura atual ao solo. Nos parâmetros já existem algumas informações de levantamento do meio físico como uso do solo, pluviosidade média e declividade, necessários ao bom entendimento do comportamento hidrológico (TABELA 32). O resultado do levantamento do DFC com a aplicação dos pesos dos parâmetros e da fórmula descritiva mostrou-se apropriado para a caracterização e regionalização das vazões mínimas, especificamente. Mas quando uniformizados os pesos para o valor 5 a força de correlação para a definição aumenta significativamente. Já o resultado do DFC com as médias dos parâmetros apresentou correlação maior e traduz as vazões médias, especialmente (TABELA 34).

A avaliação das variáveis morfométricas com a Análise de Correlação Canônica (ACC) permite verificar que a maioria das variáveis apresentaram correlações elevadas com as vazões a 1% de significância. São exceção Relação entre o comprimento dos canais, Gradiente dos canais, Fator forma e índice de sinuosidade (TABELA 35). As análises de correlação canônica apontam que as variáveis não são independentes e que as associações são estabelecidas, principalmente, pela influência de: – Vazão média de longo período relacionada com *Kc*, *Rr*, *chuva*, *Ff* e *G*; – Vazões máximas relacionadas com *Eps*, *Cm*, *Tt* e *Rpb*; – Vazões mínimas de sete dias relacionadas com *Tt*, *Eps*, *Cm*, *Lm*, *Ir*, *Or*, *Dd*, *Hm*, *Rpb* e *Dr* (TABELA 35).

A *Textura Topográfica*, entre as variáveis morfométricas, foi a melhor traduzida pelas vazões e podem regionalizar as mínimas de 7 dias e as máximas. A variável considera em seu levantamento as informações de densidade de drenagem, o que é muito diversificada em uma bacia hidrográfica. Dependendo da área de estudo, a densidade de drenagem pode ser alta, muito alta, baixa ou muito baixa, o que envolve informações diversas no levantamento como tipos de solos, topografia, geologia, tornando assim a análise bem completa.

A *Extensão do percurso superficial*, como próxima variável morfométrica de alta correlação com as vazões, traduz e pode ser traduzida pelas mínimas de 7 dias e as máximas. No levantamento também relaciona informações da densidade de

drenagem. A informação também é de suma importância no planejamento pois quanto maior a *Eps*, maior o desequilíbrio ambiental do escoamento das vazões.

O *Coeficiente de manutenção* apresentou alta correlação de causa e efeito com as vazões e também pode ser traduzida através das mínimas de sete dias de duração e as máximas. O resultado com a *Eps* é semelhante podendo ser utilizado apenas uma das variáveis no estudo e estimativas de vazões.

O *comprimento médio dos canais* traduz as vazões médias de longo período. O resultado do parâmetro também é muito próximo com o resultado fornecido através do *Índice de rugosidade*, que relaciona a amplitude altimétrica com a densidade de drenagem.

O *Índice de rugosidade* apresenta maior relação de causa e efeito com as vazões mínimas de 7 dias e pode ser traduzido por estas vazões. Relaciona a amplitude altimétrica com a densidade de drenagem representando a análise hipsométrica da rede de drenagem.

A *ordem dos canais fluviais* apresenta maior capacidade de correlação com as vazões mínimas. A identificação e manutenção das vazões mínimas é essencial para o planejamento e serve como limite para o estabelecimento de algumas práticas. Entre as práticas destacam-se a taxa de emissão de efluente que pode ser lançado em um curso d'água, retirada de água para irrigação e abastecimento (QUEIROZ *et al.*, 2010).

6 CONCLUSÕES

Com os parâmetros de levantamentos fisiográficos e de conservação analisados e confrontados com as vazões, permitiu-se chegar a algumas conclusões:

As variáveis de vazão foram no total 7: vazões médias de longo período, vazões máximas e vazões mínimas de 7, 15, 30, 60 e 90 dias de estiagem; com a aplicação das técnicas estatísticas multivariadas, foram reduzidas a 3 variáveis principais: vazões mínimas de 7 dias, vazões médias de longo período e vazões máximas.

Os parâmetros que compõe o Diagnóstico Físico Conservacionista são *CA* – cobertura atual fornecida pelo solo, *CO* – cobertura vegetal original, *DM* – declividade média, *E* – erosividade da chuva, *PE* – potencial erosivo do solo, *DD* – densidade de drenagem e *BH* – balanço hídrico. A análise das componentes principais aplicada aos parâmetros que compõem o DFC apontou que em 97% da variância total, os parâmetros *DD*, *PE*, *DM*, *CO* e *BH* são os mais representativos do método.

Os parâmetros morfométricos analisados constituíram inicialmente um total de 16 e com a aplicação da análise estatística multivariada verificou-se a possibilidade de redução para 10 variáveis que constituíram 60% da variância total das componentes principais. As variáveis mais representativas na análise foram Comprimento Médio dos Rios, Índice de Rugosidade, Extensão do Percurso Superficial, Coeficiente de Manutenção, Textura Topográfica, Ordem dos Canais, Densidade de Drenagem, Relação Ponderada de Bifurcação, Amplitude Altimétrica e Densidade de Rios.

A análise de correlação canônica (ACC) apontou que o DFC com a aplicação da fórmula descritiva é explicado com as vazões mínimas de 7 dias de estiagem. Os resultados apenas com a média dos parâmetros que compõe o método podem servir para o levantamento das vazões médias de longo período, mínimas de 7 dias e máximas.

A ACC aponta que as variáveis morfométricas de maior correlação com as vazões mínimas de 7 dias são Densidade de Rios, Textura Topográfica e Relação dos Comprimentos Médios dos Canais Ponderada. As vazões máximas

apresentaram maior correlação de causa e efeito com o Gradiente de Canais e as vazões médias de longo período com o Gradiente de Canais e o Índice de Sinuosidade.

Pelo exposto na presente tese conclui-se que o *DFC* é um parâmetro importante na regionalização das vazões mínimas de 7 dias de duração bem como a *Lm*, *Dr*, *Dd*, *Eps*, *Cm*, *Ir*, *Tt* e *Rpb*. As informações do levantamento preliminar do *DFC*, sem a aplicação da função descritiva e apenas com a média dos parâmetros, podem ser utilizados na regionalização das vazões mínimas de 7 dias, máximas e, principalmente, no estudo das vazões médias de longo período. Ainda para as vazões médias de longo período, as variáveis morfométricas *Rr*, *Kc*, *Isin* e *Ff* são as que apresentaram relação de causa e efeito. E as vazões máximas podem ser regionalizadas com o suporte da *Eps*, *Cm*, *Tt* e *Rpb*.

Os resultados da presente tese proporcionaram atender aos objetivos propostos relacionados à hipótese formulada. As informações são importantes como suporte ao levantamento de dados de regionalização de vazões em regiões em que o monitoramento é escasso e se faz necessário tal procedimento.

REFERÊNCIAS

ÁGUASPARANÁ - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Base hidrográfica do Estado do Paraná** (meio digital). Curitiba: 2012.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. (2010). **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

ANDRADE, A. R.; NERY, J. T. Análise da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.

AYRES, M., AYRES JR., M., AYRES, D. L., SANTOS, A. S. **BioEstat**. Versão 5.3, Sociedade Civil Mamirauá, MCT – CNPq, Belém, Pará, Brasil. 2007.

BALDO, M.C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. Presidente Prudente, 2006. 172p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista.

BALDO, M. C.; TOMMASELI, J. T. G.; SANTA'ANNA NETO, J. L. Caracterização pluviométrica da bacia do rio Ivaí – PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 5, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 1 CD-ROM.

BARBOSA, S.; BARBOSA JÚNIOR, A.; SILVA, G.; CAMPOS, E.; RODRIGUES, V. Models generation of regionalization of maximum, medium and minimum of seven days flow rates for the Carmo river basin, Minas Gerais. **Eng. sanit. ambient.** Rio de Janeiro, 10(1):64-71, 2005.

BARBOSA, Y.; CARVALHO, S. Análise morfométrica da bacia do arroio do Padre, Ponta Grossa – PR. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 10, n. 29, pp. 160-173, 2009.

BARTLETT M. S. A note on tests of significance in multivariate analysis. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, 35, pp 180-185, 1939.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BELTRAME, A. **Proposta metodológica para o diagnóstico do meio físico com fins conservacionista, de pequenas bacias hidrográficas - estudo da bacia do Rio do Cedro - Brusque - SC**. Florianópolis, 1990. Dissertação (Mestrado em Geografia) Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

BERNARDI, J. V. E., LACERDA, L. D., DÓREA, J. G., LANDIM, P. M. B., GOMES, J. P. O., ALMEIDA, R., BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, 1, p. 23, 2012.

BITTENCOURT A. V. L. Transporte de sólidos na bacia hidrográfica do rio Ivaí. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, n. 35: 1-54. 1982.

BOGO, R. L.; GRAMANI, L. M.; CHAVES NETO, A.; BALBO, F. A. N. Análise de correlação canônica aplicada ao fluxo de tráfego veicular – estudo de caso da rodovia federal BR-116. **Asociación Argentina de Mecánica Computacional**. Vol. XXIX, p. 2071-2081. Buenos Aires, Argentina, 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia de Drenagem. In: **Erosão e Conservação dos Solos**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2000.

BRASIL. Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. Bacias hidrográficas dos rios Ivaí, Piquiri e Paraná; dados atualizados até 1984. **Boletim Fluviométrico**, Brasília, série F-06. 1985.

CAMPOS, R. M. **Análise quantitativa e temporal da área mata ciliar de trechos da bacia do rio Ivaí – Paraná – Brasil**. Maringá, 2013, 37 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de Maringá.

CANALI, N. E.; OKA FIORI, C. Análise morfométrica da rede de drenagem da área do Parque Marumbi – Serra do Mar (PR). In : III Simpósio Sul-brasileiro de Geologia. **Anais...** v. 1. Curitiba, 1987.

CANTO, M.W.; JOBIM, C. C.; PAGLIARINI, M. S.; PANCERA JÚNIOR, E.; BARTH, NETO, A.; INTROVINI, E. P.; ZANFOLIN, P. R. L.; FERREIRA, C. W.; MATIVI, T. M.; ALMEIDA, G. M.; VIZZOTTO, B. A pecuária de corte no Paraná – desenvolvimento, caracterização e o papel das pastagens. **Scientia Agraria Paranaensis** (Cascavel) 9. 3 (2010): 05-21.

CARAMORI, P. H. Caracterização Climática. In: Instituto Agrônomo do Paraná. Potencial de Uso agrícola das áreas de várzea do Estado do Paraná: bacia hidrográfica do baixo Ivaí. **Boletim Técnico**. Londrina, n.24, v.1, p.65-69, 1989.

CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente & Sociedade**. Campinas v. X, n. 1. p. 83-96. jan.-jun. 2007

CARVALHO, S. M. **O diagnóstico físico-conservacionista – DFC como subsídio à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR**. Presidente Prudente, 2004. 183p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, S. M.; STIPP, N. A. “Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa.” **Geografia** (Londrina) 13.1 (2004): 57-72.

CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, 143(1), 1-10, 2005.

CERVI, A. C.; VON LINSINGEN, L. Sinopse taxonômica das Passifloraceae Juss. no complexo de cerrado (savana) no estado do Paraná–Brasil. **Iheringia**, Sér. Bot, 63(1), 145-157, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980, 188 p.

CHUEH, A. M; SANTOS, L. C. Análise do potencial de degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais/PR, por meio do DFC - Diagnóstico Físico Conservacionista. **Rae’ga**, v. 10, p. 61-71, 2005.

COHEN, A.; DAVIDSON, S. The watershed approach: Challenges, antecedents, and the transition from technical tool to governance unit. **Water Alternatives**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2011.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari-SP**. São Carlos, 2000. 194p. Tese (Doutorado em Geotecnia) Universidade de São Paulo.

COSTA, G. Análise de correlação canônica entre conjuntos de princípios da qualidade total. **Cadernos de Administração**, 1, 2008.

DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA R.; NIELL, X. Evaluation of water quality in the Chilla River (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, 110, p. 301-322. 2005.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do rio Ivaí - PR**. Maringá, 2005. 93p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá.

DETTKE, G. A.; ORFRINI, A. C.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. Composição florística e distribuição de epífitas vasculares em um remanescente alterado de Floresta Estacional Semidecidual no Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, 859-872, 2008.

EBISEMIJU, F.S. Canonical correlation analysis in geomorphology with particular reference to drainage basin characteristics. Amsterdam, **Geomorphology**, 1, p. 331-342. 1988.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR. Dois tomos, 1984.

ENVI®. **Tutorials better solutions Consulting Limited Liability Company Lafayette**. Colorado, USA, 370p., 1997.

ESRI®. **ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst**. versão 10.1. Environmental Systems Research Institute, 2012.

FERREIRA, D. F. **Análise multivariada**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. 662 p.

FERRETTI, E. R. **Diagnóstico físico conservacionista - DFC da bacia do rio Marrecas – PR**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Universidade Federal do Paraná.

FERRETTI, E. R. **Diagnóstico Físico-Conservacionista - DFC**: Instrumento para o

Plano de Bacias Hidrográficas - uma aplicação na Bacia do Rio Tagaça - Município de Guaraqueçaba - PR. 2003. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

FISHER, R. A. The use of multiple measurements in taxonomic problems. **Annals of Eugenics**, v. 7, p. 179-188, 1936.

FUJITA, R. H. **O perfil longitudinal do rio Ivaí e sua relação com a dinâmica de fluxos**. Maringá, 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá.

GABET, E. J.; BOOKTER, A. A morphometric analysis of gullies scoured by post-fire progressively bulked debris flows in southwest Montana, USA. **Geomorphology**, 96(3), 298-309, 2008.

GARBOSSA, R.A. **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagaça (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem**. Curitiba, 2003. 136p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Universidade Federal do Paraná.

GARTSMAN, B. I. Analysis of geomorphological formation conditions for primary streams using digital terrain models. **Geography**, n. 1, p. 136-147, 2013.

GONÇALVES, R. B.; MELO, G. The bee community (Hymenoptera, Apidae sl) in a restricted area of native grassland in the Vila Velha State Park, Paraná: diversity, phenology and food plants. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, n. 4, p. 557-571, 2005.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 932-943, 2012.

GUEDES, I. C.; SANTONI, G. D. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C.; MORALES, N.; SAAD, A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista Geociências-UnG**, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2007.

HANJRA, M. A.; QURESHI, M. E. Global water crisis and future food security in an era of climate change. **Food Policy**, v. 35, n. 5, p. 365-377, 2010.

HELD, I. M.; SODEN, B. J. Robust responses of the hydrological cycle to global warming. **Journal of Climate**, v. 19, n. 21, p. 5686-5699, 2006.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. Vol. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HOTELLING, H. The economics of exhaustible resources. **The Journal of Political Economy**. Chicago, v. 39, n. 2, p. 137-175, 1931.

HUNTINGTON, T. G. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. **Journal of Hydrology**, v. 319, n. 1, p. 83-95, 2006.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina, IAPAR, 1994. 49 p. (Documento, 18).

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Proteção e recuperação da floresta com Araucárias**. Brasília: IBAMA, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agropecuária**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2013.

IFABIYI, I. P. A reduced rank model of drainage basin response to runoff in upper Kaduna Catchment of Northern Nigeria. **Global Journal of Human Social Science**, v. 11, n. 6, 2011.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Indicadores ambientais por bacias hidrográficas do Estado do Paraná**. Curitiba, Ipardes, 2007. 98p.

_____. **Imagens de satélite LANDSAT TM 5, anos 1986, 2000 e 2011**. Disponíveis em <http://dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em 08 de abril de 2013.

ITCG – INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Formações**

fitogeográficas – Estado do Paraná, 2009.

JABUR, J. C.; SANTOS, M. L. Revisão estratigráfica da formação Caiuá. **Boletim de Geografia**. Maringá, v.2, n.2, p.91-106, 1984.

JACKSON, J.E. Principal componets and factor analysis: Part I – principal componets. **Journal of Quality Technology**. v.12, n.4, p.201-213, Oct. 1981.

JACKSON, J.E. Principal components and factor analysis: Part II - additional topics related to principal components. **Journal of Quality Technology**, v.13, n.1, jan. 1980.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersy: Prentice-Hall, 1992.

KAVISKI, E. **Métodos de regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos**. Curitiba, 1992. 296p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica), Universidade Federal do Paraná.

KIRCHNER, J. W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. **Water Resources Research**, v. 42, n. 3, 2006.

KONRAD, C. P.; OLDEN, J. D.; LYTLE, D. A.; MELIS, T. S.; SCHMIDT, J. C.; BRAY, E. N.; WILLIAMS, J. G. Large-scale flow experiments for managing river systems. **BioScience**, 61(12), 948-959, 2011.

KOZERA, C.; DITTRICH, V. A.; SILVA, S. M. Fitossociologia do componente arbóreo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, Curitiba, PR, BR. **Floresta**, 36(2), 2006.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LYNAM, T.; DE JONG, W.; SHEIL, D.; KUSUMANTO, T.; EVANS, K. A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. **Ecology and society**, v. 12, n. 1, p. 5, 2007.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1981.

MACHNICKI, A. C.; CHAVES NETO, A.; GRAMANI, L. M. Estudo e aplicação da análise multivariada de dados para a validação das estruturas físicas e pedagógicas de escolas públicas do sul do Paraná. **Cadernos do IME-Série Estatística**, v. 28, n. 1, p. 47, 2010.

MADEIRA JUNIOR, A. G.; CARDOSO JUNIOR, M. M.; CORREIA, A. R.; BELDERRAIN, M. C. N.; SCHWANZ, S. H. Integração da metodologia de apoio a decisão construtivista com a análise fatorial: análise de desempenho da sustentabilidade portuária. **Revista Podes**. Rio de Janeiro, v.5, n.1, p. 31-42, 2013.

MADEIRA JUNIOR, A. G.; CARDOSO JUNIOR, M. M.; SCARPEL, R. A.; CORREIA, A. R.; BELDERRAIN, M. C. Multicriteria and multivariate analysis to evaluate the efficiency of brazilian airlines. **Journal of the Brazilian Air Transportation Research Society**, v. 7, n. 2, 51-62, 2011.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; SOUNDARANAYAGAM, J. P. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 2, p. 373–381, 2010.

MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Curitiba: 2006. Escala 1:250.000.

MINUCCI, L. R. **Regionalização de série de vazões mensais utilizando redes neurais artificiais**. Curitiba, 2014. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos), Universidade Federal do Paraná.

MOITA NETO, J. M. **Estatística multivariada - uma visão didática-metodológica**. Crítica: Filosofia da ciência, 2008.

MOLLE, F. River-basin planning and management: the social life of a concept. **Geoforum**, v. 40, n. 3, p. 484-494, 2009.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 2. Ed., New York: Mc Graw Hill, 1976.

MÜLLER, N. L. Contribuição ao estudo do Norte do Paraná. **Geografia** (Londrina),

10(1), 89-119, 2012.

NEVES, E. H. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas-RS, através do diagnóstico físico conservacionista (DFC)**. Porto Alegre, 2012. 158p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OKA FIORI C.; SANTOS L. J. C.(Coord.); CANALI N. E.; FIORI A. P.; SILVEIRA C. T.; SILVA J. M. F.; ROSS J. L. S. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná: escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000**. Curitiba, MINEROPAR, 59p. 2007.

PALMUTI, C. S.; PICCHIALI, D. Mensuração do risco de crédito através de análise estatística multivariada. **Revista Economia Ensaios**, v. 26, n. 2, 2013.

PARANÁ. **Decreto Estadual** nº 387 de 02 de março de 1999 (Institui o Sistema de Manutenção, Recuperação e Proteção da Reserva Florestal Legal e Áreas de Preservação Permanente – SISLEG, no Estado do Paraná). 1999.

_____. **Resolução Conjunta SEMA/IAP** nº 05 de 29 de setembro de 2009 (estabelece e define o mapeamento das Áreas Estratégicas para a Conservação e a Recuperação da Biodiversidade no Estado do Paraná e dá outras providências). 2009.

PATEL, D. P.; GAJJAR, C. A.; SRIVASTAVA, P. K. Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. **Environmental earth sciences**, 69(8), 2643-2656, 2013.

POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 179-186, jan. 2003.

QUEIROZ, M. M. F.; SAMPAIO, C. S.; GOMES, M. B.; IOST, C. Estudo de vazões mínimas $Q_{1,10}$ e $Q_{7,10}$ de rios do Paraná segundo distribuição generalizada. **Revista Verde** (Mossoró – RN) v.5, n.3, p. 32-46 julho/setembro de 2010.

RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; MAGALHÃES, P. C.; CLEARY, R. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH. Editora da UFRJ, 1989.

RAO, C. R. The utilization of multiple measurements in problems of biological classification (with discussion). **J. Roy Statist. Soc.**, Series B10, 159-193, 1934.

REED, M. S. Stakeholder participation for environmental management: a literature review. **Biological conservation**, v. 141, n. 10, p. 2417-2431, 2008.

REGER, B.; HÄRING, T.; EWALD, J. The TRM Model of potential natural vegetation in mountain forests. **Folia Geobotanica**, 49(3), 337-359, 2014.

REIS, A.; TRES, D. R.; SCARIOT, E. C. Restauração na Floresta Ombrófila Mista através da sucessão natural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, (55), 67, 2007.

ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P.; NETO, E. L. M.; NETTO, A. D. O. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 9(2), 276-287, 2014.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI Y. S.; HATSCHBACH G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência & Ambiente**. Santa Maria-RS, n.24, p.75-92, jan./jun., 2002.

ROY, S. N. On a heuristic method of test construction and its use in multivariate analysis. **The annals of Mathematical Statistics**, 24: 220-238, 1953.

SAMPAIO, B.; GUIMARÃES, J. Diferenças de eficiência entre ensino público e privado no Brasil. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 45-68, 2009.

SANTOS, I.; FILL, H.; SUGAI, M.; BUBA, H.; KISHI, R.; MARONI, E.; LAUTERT, L. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes badlands or Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p.597-646, 1956.

SIMMERS, I. A systematic problem-oriented approach to hydrological data regionalization. **Journal of hidrology**, v. 73, n.1/2, p. 71-87, 1984.

SOARES, M.; SOUZA, J. Análise morfométrica da bacia do rio Pequeno em São José dos Pinhais - PR. **Geografia** (Londrina), v. 21, p. 019-036, 2013.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma floresta ombrófila mista aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, 38(2), 2008.

SRTM. NASA, 2003. Disponível em: <http://seamless.usgs.gov/>.

STRAHLER, A. **Geografia Física**. Barcelona: Omega, 1974, 550p.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Haven: Transactions: American Geophysical Union 38: 913-920. 1957.

THOMAZ, S. L. Sinopse sobre a geologia do Paraná. **Boletim de Geografia**. Maringá, n.2, ano 2, p.76-89, 1984.

TORRES, J. L. R.; SILVA, S. R.; PEDRO, C. A. S.; PASSOS, A. O.; GOMES, J. Q. Morfometria e qualidade da água da microbacia do Ribeirão da Vida em Uberaba (MG). **Gl. Sci. Technol.**, v. 02, n. 01, p.01-09, 2009.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *eucalyptus grandis* e *eucalyptus saligna*. **CERNE**, n. 9, p. 66–80, 2003.

TUCCI, C. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Org. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975, p. 8 - 28.

YADAV, S. K.; SINGH, S. K.; GUPTA, M.; SRIVASTAVA, P. K. Morphometric analysis of Upper Tons basin from Northern Foreland of Peninsular India using CARTOSAT satellite and GIS. **Geocarto International**, 29(8), 895-914, 2014.

WARNER, J.; WESTER, P.; BOLDING, A. Going with the flow: river basins as the natural units for water management. **Water Policy**, v. 10, n. S2, p. 121-138, 2008.

ZANATA, M. **Morfometria de compartimentos hidrológicos e qualidade hídrica do município de Batatais-SP**. Jaboticabal, 2013. 103p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista.

ANEXO 1**INFORMAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO IVAÍ,**

Código	Estação	Município	Instalação	Latitude	Longitude	Altitude
02352000	PORTO PARAISO DO NORTE	Rondon	03/01/1953	23° 19' 27"	52° 40' 01"	250
02353041	APARECIDA DO IVAI	Santa Mônica	07/01/1974	23° 10' 59"	53° 04' 00"	300
02352002	QUINTA DO SOL	Quinta do Sol	08/01/1974	23° 49' 00"	52° 10' 59"	315
02451020	BARBOSA FERRAZ	Barbosa Ferraz	08/01/1974	24° 01' 00"	51° 57' 00"	320
02352061	SITIO FLORESTA	Ivatuba	09/04/1974	23° 37' 01"	52° 11' 47"	339
02353038	SAO JOSÉ DO IVAI	Santa Isabel do Ivaí	15/12/1975	23° 07' 52"	53° 16' 38"	339
02353010	QUERENCIA DO NORTE	Querência do Norte	14/08/1975	23° 04' 54"	53° 28' 52"	349
02352063	SÃO JORGE DO IVAI	São Jorge do Ivaí	16/02/1979	23° 25' 00"	52° 18' 00"	350
02352048	GAUCHINHA	Planaltina do Paraná	15/12/1975	23° 08' 57"	52° 56' 43"	354
02352053	COPACABANA DO NORTE	São Jorge do Ivaí	12/12/1975	23° 31' 51"	52° 22' 51"	358
02451014	IVAIPORÃ	Ivaiporã	10/11/1955	24° 15' 00"	51° 39' 00"	360
02352060	COMUR	Planaltina do Paraná	07/07/1974	23° 04' 38"	52° 57' 33"	362
02351029	SÃO MIGUEL DO CAMBUI	Marialva	23/01/1975	23° 36' 35"	51° 51' 36"	372
02353023	MARIA HELENA	Maria Helena	17/12/1975	23° 36' 28"	53° 12' 15"	372
02353017	SANTA MONICA	Cidade Gaúcha	16/12/1975	23° 26' 19"	53° 00' 58"	380
02451002	UBÁ DO SUL	Lidianópolis	04/01/1967	24° 03' 00"	51° 37' 00"	380
02352052	DEPUTADO JOSÉ AFONSO	Paranavaí	14/12/1975	23° 06' 49"	52° 42' 45"	383
02352051	AMAPORÃ	Amaporã	15/12/1975	23° 05' 07"	52° 47' 05"	396
02352047	GUAPOREMA	Guaporema	17/12/1975	23° 19' 59"	52° 46' 00"	400
02353001	SANTA ISABEL DO IVAI	Santa Isabel do Ivaí	10/01/1957	23° 00' 24"	53° 11' 20"	400
02353034	TAPIRA	Tapira	16/12/1975	23° 19' 11"	53° 04' 12"	401
02351023	SÃO PEDRO DO IVAI	São Pedro do Ivaí	22/01/1975	23° 51' 51"	51° 51' 30"	404
02351028	ITAMBÉ	Itambé	23/01/1975	23° 39' 00"	51° 58' 59"	420
02352014	BELA VISTA DO IVAI	Fênix	22/01/1975	23° 50' 53"	52° 01' 42"	420
02452047	ÁGUA FRIA	Iretama	12/04/1975	24° 17' 34"	52° 04' 37"	420
02352046	CIDADE GAUCHA	Cidade Gaúcha	17/12/1975	23° 22' 57"	52° 56' 39"	422

02352055	FLORIANO	Maringá	13/12/1975	23º 31' 35"	52º 03' 13"	424
02352030	SILVIOLANDIA	Peabiru	22/10/1975	23º 59' 40"	52º 14' 16"	425
02352050	PLANALTINA DO PARANÁ	Planaltina do Paraná	15/12/1975	23º 01' 22"	52º 55' 18"	433
02353027	SANTA ELIZA	Umuarama	01/09/1976	23º 31' 39"	53º 27' 46"	441
02352042	OURO VERDE	Tapejara	01/07/1976	23º 40' 05"	52º 58' 34"	447
02353031	ICARAIMA	Icaraíma	01/08/1976	23º 22' 59"	53º 37' 00"	450
02353033	DOURADINA	Douradina	15/12/1975	23º 22' 00"	53º 16' 59"	450
02353029	NOVA OLIMPIA	Nova Olímpia	16/12/1975	23º 29' 09"	53º 05' 02"	453
02353028	VILA CARBONELLA	Maria Helena	01/09/1976	23º 32' 55"	53º 19' 16"	455
02252025	FAZENDA NOVO MATÃO	Guairaçá	13/08/1975	22º 57' 00"	52º 48' 00"	460
02353044	NOVO PORTO TAQUARA	Santa Isabel do Ivaí	07/01/1974	23º 11' 13"	53º 12' 05"	470
02352035	MALU	Terra Boa	14/01/1976	23º 40' 23"	52º 22' 50"	474
02352017	ESTAÇÃO CRIAÇÃO ESTADO - PARANAVAÍ	Paranavaí	07/01/1971	23º 04' 59"	52º 25' 59"	480
02353004	CRUZEIRO DO OESTE	Cruzeiro do Oeste	02/07/1957	23º 46' 40"	53º 04' 56"	480
02353008	UMUARAMA - IAPAR	Umuarama	10/01/1971	23º 43' 59"	53º 16' 59"	480
02352039	IVAITINGA	Nova Esperança	13/12/1975	23º 13' 19"	52º 20' 59"	497
02351024	KALORÉ	Kaloré	22/01/1975	23º 49' 33"	51º 40' 09"	499
02352045	JAPURÁ	Japurá	16/12/1975	23º 28' 00"	52º 33' 00"	500
02353022	SERRA DOS DOURADOS	Umuarama	01/09/1976	23º 37' 00"	53º 22' 00"	500
02352044	INDIANÓPOLIS	Indianópolis	16/12/1975	23º 28' 58"	52º 42' 05"	501
02351044	VALE AZUL	Sarandi	12/12/1975	23º 29' 02"	51º 54' 20"	504
02352010	PORTO BANANEIRA	Engenheiro Beltrão	19/02/1974	23º 40' 37"	52º 07' 07"	520
02352034	ENGENHEIRO BELTRÃO	Engenheiro Beltrão	22/10/1975	23º 46' 59"	52º 15' 00"	520
02352037	FLORAI	Floraí	13/12/1975	23º 19' 26"	52º 17' 58"	521
02352029	PEABIRU	Peabiru	22/10/1975	23º 54' 39"	52º 20' 10"	527
02451051	CANDIDO DE ABREU	Cândido de Abreu	10/03/1975	24º 33' 54"	51º 19' 53"	528
02351004	BOM SUCESSO	Bom Sucesso	23/01/1975	23º 42' 38"	51º 46' 26"	531
02352033	SALTINHO	Engenheiro Beltrão	22/10/1975	23º 48' 00"	52º 19' 59"	550
02451003	TEREZA CRISTINA	Cândido de Abreu	08/01/1956	24º 49' 48"	51º 08' 32"	550

02352038	OURIZONA	Ourizona	13/12/1975	23° 24' 15"	52° 11' 46"	561
02352031	IGARITÉ	Cianorte	23/10/1975	23° 47' 34"	52° 38' 29"	572
02452008	IRETAMA	Iretama	16/09/1965	24° 25' 06"	52° 06' 21"	584
02451029	FAXINAL DA BOA VISTA	Prudentópolis	16/09/1975	24° 55' 00"	51° 22' 00"	590
02452007	CAMPO MOURÃO	Campo Mourão	19/02/1973	24° 02' 50"	52° 22' 03"	591
02351020	BORRAZÓPOLIS	Borrazópolis	22/01/1975	23° 56' 27"	51° 35' 16"	600
02352032	TAQUARIMBÉ (BIDÃO)	Araruna	22/10/1975	23° 49' 59"	52° 30' 00"	600
02451017	PORTO ESPANHOL	Rio Branco do Ivaí	08/10/1965	24° 21' 00"	51° 25' 00"	600
02351043	CRUZEIRO	Cambira	12/12/1975	23° 39' 46"	51° 36' 09"	601
02452044	MARILU	Iretama	20/10/1975	24° 25' 21"	52° 12' 16"	603
02351025	ITACOLOMI	Novo Itacolomi	22/01/1975	23° 45' 50"	51° 30' 25"	606
02452005	BARRAGEM MOURÃO	Campo Mourão	01/01/1948	24° 06' 00"	52° 19' 59"	615
02452018	CAMPO MOURÃO	Campo Mourão	04/01/1958	24° 03' 00"	52° 22' 00"	616
02452004	SALTO NATAL	Campo Mourão	18/02/1974	24° 01' 59"	52° 16' 00"	617
02451049	POUSO ALEGRE	Jardim Alegre	10/10/1975	24° 06' 52"	51° 44' 03"	618
02451034	JACIABA	Prudentópolis	16/09/1975	24° 50' 26"	51° 17' 46"	621
02451006	PORTO MONTEIRO	Cruzmalina	01/10/1974	24° 06' 00"	51° 28' 59"	625
02351026	RIO BOM	Rio Bom	21/01/1975	23° 45' 50"	51° 24' 39"	648
02450052	RIO NOVO	Reserva	30/09/1975	24° 25' 00"	50° 58' 00"	650
02452045	RIO DA VARGEM/MOURAO	Campo Mourão	18/10/1975	24° 14' 05"	52° 24' 09"	668
02451047	RIO BRANCO DO IVAÍ	Rio Branco do Ivaí	15/10/1975	24° 19' 20"	51° 18' 40"	675
02550000	RIO DOS PATOS	Prudentópolis	03/01/1937	25° 12' 00"	50° 55' 59"	690
02451044	NOVA TEBAS	Nova Tebas	20/09/1975	24° 25' 00"	51° 55' 59"	700
02452014	MAMBORE	Mamborê	14/04/1965	24° 16' 59"	52° 31' 00"	702
02451022	JACUTINGA	Ivaiporã	24/01/1975	24° 15' 00"	51° 31' 59"	720
02451023	RIBEIRÃO BONITO	Grandes Rios	24/01/1975	24° 11' 04"	51° 25' 30"	726
02450049	SALTINHO	Ivaí	20/09/1975	24° 57' 27"	50° 53' 30"	743
02451007	PINHALZINHO	Ortigueira	24/01/1975	24° 07' 00"	51° 07' 59"	750
02550055	SALTINHO	Prudentópolis	15/09/1975	25° 09' 00"	50° 58' 59"	750

02551043	VILA ESPERANCA	Prudentópolis	15/09/1975	25° 09' 00"	51° 04' 00"	750
02551038	TIJUCO PRETO	Prudentópolis	09/12/1975	25° 22' 47"	51° 04' 58"	792
02452046	LUIZIANA	Luiziana	17/10/1975	24° 16' 59"	52° 16' 00"	800
02550006	IVAI	Ivaí	01/01/1912	25° 01' 00"	50° 51' 00"	808
02451045	ALTO PORÃ	Ivaiporã	17/10/1975	24° 21' 11"	51° 41' 29"	811
02452041	SANTO ANTONIO	Roncador	20/10/1975	24° 30' 02"	52° 14' 37"	819
02550056	IVAI	Ivaí	20/09/1975	25° 01' 00"	50° 51' 00"	850
02550057	GUAMIRANGA	Guamiranga	09/11/1975	25° 12' 00"	50° 48' 00"	850
02551039	RELÓGIO	Prudentópolis	18/09/1975	25° 16' 59"	51° 06' 00"	850
02351027	SAO JOSÉ	Marilândia do Sul	18/01/1975	23° 49' 37"	51° 15' 59"	860
02451043	BARRA BONITA	Reserva	10/02/1975	24° 34' 10"	51° 09' 11"	866
02451013	PITANGA	Pitanga	15/04/1965	24° 45' 26"	51° 45' 33"	892
02451032	CASCATA - RIO DO SUSTO	Pitanga	21/07/1975	24° 45' 33"	51° 37' 19"	893
02451038	FAXINAL CATANDUVAS	Cândido de Abreu	10/03/1975	24° 37' 00"	51° 16' 00"	900
02451046	ARIRANHA	Ariranha do Ivaí	15/10/1975	24° 22' 00"	51° 30' 00"	900
02550053	ITAPARA	Irati	09/12/1975	25° 28' 00"	50° 58' 59"	900
02451027	CARAZINHO	Boa Ventura de São Roque	20/09/1975	24° 54' 30"	51° 39' 28"	906
02451036	BOM RETIRO	Pitanga	20/09/1975	24° 38' 28"	51° 45' 29"	911
02451035	BAIRRO DA IMBUIA	Reserva	30/09/1975	24° 51' 33"	51° 00' 32"	934
02451028	BOA VENTURA	Boa Ventura de São Roque	21/09/1975	24° 53' 01"	51° 32' 37"	950
02452042	ALTO SÃO JOÃO	Roncador	20/10/1975	24° 30' 00"	52° 03' 00"	950
02451015	MANOEL RIBAS	Manoel Ribas	24/09/1965	24° 30' 00"	51° 40' 00"	972
02451026	ARROIO GRANDE	Pitanga	21/09/1975	24° 37' 00"	51° 49' 59"	1050
02450050	BARREIRO	Reserva	10/04/1975	24° 40' 08"	50° 56' 06"	1116
02551040	TURVO	Turvo	19/09/1975	25° 02' 26"	51° 32' 39"	1146
02451039	LARANJEIRAS	Reserva	10/02/1975	24° 41' 00"	51° 03' 35"	1200

APÊNDICE 1

SUB-BACIA 1

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	2439	1533,65	-	0,63	-	-	-
2ª	569	467,38	4,29	0,82	12893,69	1,31	3929,38
3ª	120	260,87	4,74	2,17	3267,01	2,65	1823,50
4ª	28	182,59	4,29	6,52	634,29	3,00	443,94
5ª	8	112,04	3,50	14,00	126,00	2,15	77,32
6ª	2	45,54	4,00	22,77	40,00	1,63	16,26
7ª	1	34,25	2,00	34,25	6,00	1,50	4,51
Total	3167	2636,31		0,83	16966,99		6294,91
					Rpb =	5,36	Rlmp = 1,99

SUB-BACIA 2

Ordem	nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	2578	1591,62	-	0,62	-	-	-
2ª	600	488,97	4,30	0,81	13654,81	1,32	4194,93
3ª	127	269,71	4,72	2,12	3434,65	2,61	1894,52
4ª	30	186,71	4,23	6,22	664,63	2,93	460,10
5ª	8	112,04	3,75	14,00	142,50	2,25	85,51
6ª	2	45,54	4,00	22,77	40,00	1,63	16,26
7ª	1	42,14	2,00	42,14	6,00	1,85	5,55
Total	3346	2736,71		0,82	17942,59		6656,87
					Rpb =	5,36	Rlmp = 1,99

SUB-BACIA 3

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	19065	6755,1	-	0,35	-	-	-
2ª	4376	2262,0	4,36	0,52	102125,8	1,46	34197,62
3ª	967	1247,2	4,53	1,29	24178,87	2,50	13331,84
4ª	214	705,8	4,52	3,30	5336,57	2,56	3020,24
5ª	57	414,3	3,75	7,27	1017,44	2,20	597,16
6ª	14	277,1	4,07	19,79	289,07	2,72	193,32
7ª	2	162,3	7,00	81,14	112,00	4,10	65,60
8ª	1	0,71	2,00	0,71	6,00	0,01	0,03
Total	24696	11824,5		0,48	133065,7		51405,80
					Rpb =	5,39	Rlmp = 2,08

SUB-BACIA 4

Ordem	nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	45000	15617,3	-	0,35	-	-	-
2ª	10314	5350,9	4,36	0,52	241335,1	1,49	82687,78
3ª	2257	2863,1	4,57	1,27	57446,74	2,45	30737,96
4ª	491	1626,5	4,60	3,31	12631,85	2,61	7176,03
5ª	118	1085,4	4,16	9,20	2534,06	2,78	1691,03
6ª	27	590,8	4,37	21,88	633,70	2,38	344,93
7ª	5	241,4	5,40	48,28	172,80	2,21	70,61
8ª	1	153,20	5,00	153,20	30,00	3,17	19,04

Total	58213	27528,6	0,47	314784,2	122727,3
			Rpb =	5,41	Rlmp = 2,11

SUB-BACIA 5

Ordem	nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	24741	6090,58	-	0,25	-	-	-
2ª	5597	2247,00	4,42	0,40	134106,2	1,63	49475,79
3ª	1242	1151,26	4,51	0,93	30819,55	2,31	15790,52
4ª	284	709,64	4,37	2,50	6673,56	2,70	4113,63
5ª	66	414,68	4,30	6,28	1506,06	2,51	880,06
6ª	17	158,30	3,88	9,31	322,24	1,48	123,01
7ª	3	161,68	5,67	53,89	113,33	5,79	115,76
8ª	1	123,96	3,00	123,96	12,00	2,30	9,20
Total	31951	11057,09		0,35	173552,9		70507,96
					Rpb =	5,43	Rlmp = 2,21

SUB-BACIA 6

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	74818	23641,95	-	0,32	-	-	-
2ª	17051	8355,36	4,39	0,49	403111,5	1,55	142464,7
3ª	3744	4385,70	4,55	1,17	94705,01	2,39	49710,29
4ª	835	2565,23	4,48	3,07	20531,47	2,62	12009,04
5ª	199	1646,07	4,20	8,27	4338,64	2,69	2784,04
6ª	46	839,87	4,33	18,26	1059,89	2,21	540,79
7ª	8	403,08	5,75	50,39	310,50	2,76	149,02
8ª	2	360,44	4,00	180,22	40,00	3,58	35,77
9ª	1	11,26	2,00	11,26	6,00	0,06	0,19
Total	96704	42208,96		0,44	524103,0		207693,8
					Rpb =	5,42	Rlmp = 2,15

SUB-BACIA 7

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	4515	3336,25	-	0,74	-	-	-
2ª	980	1106,38	4,61	1,13	25316,25	1,53	8395,48
3ª	208	728,29	4,71	3,50	5597,31	3,10	3684,52
4ª	49	449,48	4,24	9,17	1090,94	2,62	673,30
5ª	12	265,93	4,08	22,16	249,08	2,42	147,37
6ª	3	135,30	4,00	45,10	60,00	2,04	30,53
7ª	1	81,49	3,00	81,49	12,00	1,81	7,23
Total	5768	6103,13		1,06	32325,58		12938,42
					Rpb =	5,60	Rlmp = 2,24

SUB-BACIA 8

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	Rlm	Rlmp
1ª	84998	30653,60	-	0,36	-	-	-
2ª	19162	10678,06	4,44	0,56	462028,6	1,55	160945,8
3ª	4194	5840,03	4,57	1,39	106711,4	2,50	58362,44
4ª	939	3469,99	4,47	3,70	22926,31	2,65	13622,20

5ª	220	2246,40	4,27	10,21	4946,82	2,76	3202,48
6ª	50	1065,17	4,40	21,30	1188,00	2,09	563,31
7ª	9	511,65	5,56	56,85	327,78	2,67	157,45
8ª	2	360,44	4,50	180,22	49,50	3,17	34,87
9ª	1	82,12	2,00	82,12	6,00	0,46	1,37
Total	109575	54907,45		0,50	598184,4		236889,9
				Rpb =	5,46	RImp =	2,16

SUB-BACIA 9							
Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	RIm	RImp
1ª	935	907,28	-	0,97	-	-	-
2ª	183	316,65	5,11	1,73	5712,19	1,78	1993,63
3ª	41	235,87	4,46	5,75	999,80	3,32	744,75
4ª	8	155,58	5,13	19,45	251,13	3,38	165,64
5ª	1	113,18	8,00	113,18	72,00	5,82	52,38
Total	1168	1728,57		1,48	7035,12		2956,39
				Rpb =	6,02	RImp =	2,53

SUB-BACIA 10							
Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	RIm	RImp
1ª	387	442,94	-	1,14	-	-	-
2ª	67	140,34	5,78	2,09	2622,36	1,83	830,87
3ª	16	143,64	4,19	8,98	347,56	4,29	355,74
4ª	3	85,72	5,33	28,57	101,33	3,18	60,47
5ª	1	42,93	3,00	42,93	12,00	1,50	6,01
Total	474	855,58		1,81	3083,25		1253,09
				Rpb =	6,50	RImp =	2,64

SUB-BACIA 11							
Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	RIm	RImp
1ª	88019	33043,85	-	0,38	-	-	-
2ª	19779	11449,05	4,45	0,58	479714,5	1,54	166211,7
3ª	4330	6324,98	4,57	1,46	110127,5	2,52	60839,42
4ª	968	3787,75	4,47	3,91	23698,70	2,68	14192,09
5ª	226	2591,12	4,28	11,47	5114,12	2,93	3498,47
6ª	50	1065,17	4,52	21,30	1247,52	1,86	512,84
7ª	9	511,65	5,56	56,85	327,78	2,67	157,45
8ª	2	360,44	4,50	180,22	49,50	3,17	34,87
9ª	1	132,82	2,00	132,82	6,00	0,74	2,21
Total	113384	59266,82		0,52	620285,5		245449,0
				Rpb =	5,47	RImp =	2,16

SUB-BACIA 12							
Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	RIm	RImp
1ª	90710	36132,75	-	0,40	-	-	-
2ª	20309	12496,15	4,47	0,62	495865,5	1,54	171490,1
3ª	4448	6971,05	4,57	1,57	113037,3	2,55	63058,51

4ª	994	4223,44	4,47	4,25	24352,13	2,71	14753,84
5ª	234	2838,69	4,25	12,13	5216,38	2,86	3506,06
6ª	52	1128,27	4,50	21,70	1287,00	1,79	511,53
7ª	9	511,65	5,78	56,85	352,44	2,62	159,83
8ª	2	360,44	4,50	180,22	49,50	3,17	34,87
9ª	1	224,83	2,00	224,83	6,00	1,25	3,74
Total	116759	64887,26		0,56	640166,3		253518,5
				Rpb =	5,48	RImp =	2,17

SUB-BACIA 13

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm	Rpb	RIm	RImp
1ª	303	406,90		1,34			
2ª	59	140,63	5,14	2,38	1859,08	1,77	642,53
3ª	12	58,30	4,92	4,86	349,08	2,04	144,73
4ª	2	29,43	6,00	14,71	84,00	3,03	42,40
5ª	1	50,29	2,00	50,29	6,00	3,42	10,25
Total	377	685,55		1,82	2298,17		839,91
				Rpb =	6,10	RImp =	2,23

SUB-BACIA 14

Ordem	Nº canais	Comp (km)	Rb	Lm (km)	Rpb	RIm	RImp
1ª	93958	39894,91	-	0,42	-	-	-
2ª	20956	13639,83	4,48	0,65	515226,65	1,53	176152,9
3ª	4587	7492,48	4,57	1,63	116694,81	2,51	64101,52
4ª	1022	4628,81	4,49	4,53	25174,64	2,77	15552,75
5ª	240	2982,15	4,26	12,43	5374,02	2,74	3462,25
6ª	53	1188,50	4,53	22,42	1326,79	1,80	528,78
7ª	9	511,65	5,89	56,85	365,11	2,54	157,18
8ª	2	360,44	4,50	180,22	49,50	3,17	34,87
9ª	1	334,65	2,00	334,65	6,00	1,86	5,57
Total	120828	71033,42		0,59	664217,52	2,37	259995,8
				Rpb =	5,50	RImp =	2,15